



**Aalto-yliopisto**  
Insinööritieteiden  
korkeakoulu

Tuuli Teittinen

## **Uusiomaarakentamisen ympäristövaikutusindikaattorit ja päästölaskenta tie- ja katurakentamisessa**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 15.02.2015

Valvoja: Professori Jaana Sorvari

Ohjaajat: Malin zu Castell-Rüdenhausen ja Taavi Dettenborn

---

**Tekijä** Tuuli Teittinen

---

**Työn nimi** Uusiomaarakentamisen ympäristövaikutusindikaattorit ja päästölaskenta tie- ja katurakentamisessa

---

**Koulutusohjelma** Vesi- ja ympäristötekniikka

---

**Koodi** WAT

---

**Työn valvoja** Jaana Sorvari

---

**Työn ohjaaja(t)** Malin zu Castell- Rüdenhausen, Taavi Dettenborn

---

**Päivämäärä** 15.02.2019

---

**Sivumäärä** 84

---

**Kieli** suomi

---

## Tiivistelmä

Infra-alalla on havaittu tarve kehittää menetelmiä, joilla voidaan arvioida infrarakentamisen ympäristökestävyyttä. Erityisesti uusiomateriaalien huomioiminen päästölaskennassa on melko uusi asia, johon ei ole vielä olemassa yhtenäisiä menettelytapoja. Tämän diplomityön tarkoituksena oli tuottaa tietoa siitä, miten infrarakentamisen päästölaskentaa tulisi kehittää. Diplomityössä selvitettiin asiantuntijahaastattelujen avulla, mitkä ovat tärkeimpiä infrarakentamisen ympäristökestävyyssindikaattoreita. Päästölaskentaesimerkin avulla tarkasteltiin, miten uusiomateriaalien käyttö vaikuttaa tiehankkeen rakentamisvaiheen CO<sub>2</sub>-päästöihin ja miten se, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet otetaan huomioon päästölaskennassa, vaikuttaa päästölaskennan tuloksiin.

Diplomityössä tehtyjen asiantuntijahaastattelujen perusteella kasvihuonekaasupäästöjä kuvaavat indikaattorit ovat tällä hetkellä tärkeimpiä infrarakentamisen ympäristökestävyyssindikaattoreita. Haastateltavien mukaan infrahankkeiden ympäristökestävyystarkasteluissa on hyvä käyttää myös resurssi- ja materiaalitehokkuutta kuvaavia indikaattoreita. Diplomityön päästölaskentaesimerkin tulosten mukaan uusiomateriaalien käytöllä voidaan vähentää hankkeen CO<sub>2</sub>-päästöjä. Laskentaesimerkissä betonimurskeelle tehdyssä tarkastelussa kuitenkin huomattiin, että se, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet otetaan huomioon päästölaskennassa, voi vaikuttaa huomattavasti päästölaskennan tuloksiin. Uusiomateriaalien valmistuksen ja jalostamisen päästöjen allokointi edellisen prosessin (prosessin, josta uusiomateriaali on peräisin) päästöihin, tuo uusiomateriaaleille etua vertailtaessa niiden päästöjä perinteisiin materiaaleihin. Infrarakentamisessa kuljetukset ovat suurten materiaalimäärien takia suuressa roolissa päästöjen muodostumisessa. Betonimurskeen osalta päästölaskennan tuloksiin vaikuttaa erityisesti se, miten huomioidaan betonimurskeen kyky sitoa hiilidioksidia.

Diplomityön johtopäätös on, että kansallinen ohjeistus infrarakentamisen päästölaskennan suorittamisesta olisi tarpeen. Ohjeistusta tarvittaisiin ainakin siitä, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet päästölaskennasta tulee huomioida, miten betonimurskeen hiilensidontakyky tulee ottaa huomioon, mitä tietolähteitä päästölaskennassa tulee käyttää ja mitkä kaikki työmaatoiminnot päästölaskennassa tulee ottaa huomioon.

---

**Avainsanat** uusiomaarakentaminen, infrarakentaminen, tierakentaminen, uusiomateriaalit, ympäristökestävyys, ympäristökestävyyssindikaattorit, päästölaskenta, elinkaariarviointi

---

---

**Author** Tuuli Teittinen

---

**Title of thesis** Environmental impact indicators and emission calculations in road construction when using secondary raw materials

---

**Degree programme** Master's Programme in Water and Environmental Engineering

---

**Major/minor** Water and Environmental Engineering

---

**Code** WAT

---

**Thesis supervisor** Jaana Sorvari

---

**Thesis advisor(s)** Malin zu Castell- Rüdenhausen, Taavi Dettenborn

---

**Date** 15.02.2019

---

**Number of pages** 84

---

**Language** Finnish

---

### Abstract

The need for developing methods to assess environmental sustainability of infrastructure construction has been identified in the infrastructure sector. In particular, the inclusion of secondary materials in emissions calculations is a rather new issue that does not yet have uniform practices. The purpose of this thesis was to provide information on how the emission calculation of infrastructure construction should be developed. Expert interviews were used to examine what are the most important environmental sustainability indicators of infrastructure construction. An emission calculation example was conducted to find out how the use of secondary materials affects CO<sub>2</sub> emissions of the construction phase of a road project, and how the inclusion of different life cycle phases of secondary materials affects the results of the emission calculation.

Based on the expert interviews, the greenhouse gas emission indicators are currently the most important environmental sustainability indicators for infrastructure construction. Using of indicators describing resource and material efficiency is also advisable. According to the results of the emission calculation, the use of alternative materials can reduce the CO<sub>2</sub> emissions of the project. However, it was noted that the results of the emission calculation can vary significantly depending on which phases of the secondary materials' life cycle have been taken into account. Allocating emissions from the production and processing of secondary materials to emissions from the previous process (the process from which the secondary material originates) brings an advantage to the secondary materials when comparing their emissions to conventional materials. Due to the large amount of materials used, transportation forms a major part of the emissions of the construction phase of an infrastructure. Concerning the emissions of crushed concrete aggregate, the inclusion of the CO<sub>2</sub> capture of concrete is a factor affecting the results of the emission calculations.

The thesis concludes that there is a need for national guidance on the calculation of emissions from infrastructure construction. Guidance would be needed, at least, on the following issues: which life cycle phases of secondary materials should be taken into account in the emission calculation, how to take into account the carbon binding capacity of crushed concrete aggregate, which data sources should be used and which operations at the construction site should be taken into account in the emission calculation.

---

**Keywords** infrastructure construction, earthworks, road construction, secondary materials, environmental sustainability, environmental impact indicator, emission calculation, life cycle assessment (LCA)

---

## Alkusanat

*Aiheen tähän diplomityöhön antoi YGOFORUM, joka on puolueeton jäte- ja sivutuotemateriaalien infrarakennuskäytön yhteistyöfoorumi. Diplomityötä rahoittivat YGOFORUM, Liikennevirasto (nyk. Väylävirasto<sup>1</sup>), Ympäristöministeriö, Helsingin kaupunki, Ramboll Finland Oy sekä VTT, jossa työn käytännön toteutus tehtiin. Diplomityön ohjaajina toimivat Malin zu Castell- Rüdenhausen VTT:ltä sekä Taavi Dettenborn Rambollilta ja työn valvojana Jaana Sorvari Aalto-yliopistosta. Diplomityön ohjaukseen osallistui myös rahoittajien edustajista koostunut ohjausryhmä, johon kuuluivat*

<i>Else Peuranen</i>	<i>Ympäristöministeriö</i>
<i>Eini Lemmelä</i>	<i>Ympäristöministeriö</i>
<i>Soile Knuuti</i>	<i>Liikennevirasto (nyk. Väylävirasto)</i>
<i>Laura Pennanen</i>	<i>Liikennevirasto (nyk. Väylävirasto), YGOFORUM</i>
<i>Kalle Rantala</i>	<i>Helsingin kaupunki</i>
<i>Heidi Huvila</i>	<i>Helsingin kaupunki</i>
<i>Juha Forsman</i>	<i>Ramboll Finland Oy</i>
<i>Riina Känkänen</i>	<i>Ramboll Finland Oy</i>
<i>Leena Korkiala-Tanttu</i>	<i>Aalto-yliopisto</i>
<i>Margareta Wahlström</i>	<i>VTT</i>

*Haluan kiittää YGOFORUMia mielenkiintoisesta diplomityöaiheesta, kaikkia rahoittajia sekä työn ohjausryhmää ja valvojaa, jotka kommentoivat diplomityötäni matkan varrella ja antoivat hyviä neuvoja. Suuret kiitokset kuuluvat myös työn ohjaajille Malinille ja Taaville, joilta sain hyvää ohjausta ja tukea koko prosessin ajan. Kiitos myös VTT:n kahviporukalle työpäivien piristämisestä!*

Espoo 15.02.2019

Tuuli Teittinen

---

<sup>1</sup> Liikennevirasto on 1.1.2019 alkaen Väylävirasto.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo .....	5
Lyhenteet ja merkinnät .....	7
1 Johdanto .....	8
Käsitteet .....	8
1.1 Työn tausta .....	10
1.2 Uusiomateriaaleihin ja infrarakentamisen päästölaskentaan liittyvät hankkeet ja tutkimukset.....	11
1.3 Työn rakenne, tavoitteet ja rajoitukset .....	12
2 Tie- ja katurakentaminen ja uusiomateriaalit.....	14
2.1 Tie- ja katusuunnittelun vaiheet .....	14
2.2 Tie- ja katurakentamisen toimijat ja urakkamuodot.....	15
2.3 Tien ja kadun rakenne .....	15
2.4 Uusiomateriaalit tie- ja katurakentamisessa .....	18
2.4.1 Uusiomateriaalien käyttö ja ominaisuudet.....	18
2.4.2 Uusiomateriaalien käyttöä ohjaava lainsäädäntö .....	21
3 Ympäristökestävyyssarviointi tie- ja katurakentamisessa.....	24
3.1 Ympäristövaikutusten arviointimenettelyt ja -menetelmät .....	24
3.1.1 YVA-menettely.....	24
3.1.2 EIMI-järjestelmä.....	25
3.1.3 Elinkaariarviointi (LCA).....	26
3.2 Ympäristövaikutusindikaattorit.....	30
3.2.1 Kasvihuonekaasupäästöt .....	30
3.2.2 Muut päästöt ilmaan.....	31
3.2.3 Päästöt maaperään, pohjaveteen ja vesistöihin .....	32
3.2.4 Luonnonvarojen käyttö ja materiaalitehokkuus.....	34
3.2.5 Melu, värinä ja valo .....	34
3.2.6 Luonnon monimuotoisuuden väheneminen.....	35
3.2.7 Vaikutukset maisemaan, kulttuuriympäristöihin ja virkistysmahdollisuuksiin	36
3.3 Kestävän rakentamisen standardit.....	36
4 Uusiomateriaalien huomioon ottaminen ympäristövaikutustarkasteluissa.....	40
5 Tutkimusaineisto ja -menetelmät.....	42
5.1 Asiantuntijahaastattelut .....	42
5.2 Päästölaskenta .....	43
5.2.1 MELI-laskentaohjelma .....	43
5.2.2 Tarkasteluun valitut materiaalit .....	44
5.2.3 Esimerkkikohde .....	49
6 Tulokset ja niiden tarkastelu .....	52
6.1 Yhteenveto haastatteluista.....	52
6.1.1 Infrahankkeiden ympäristövaikutusten elinkaarilaskenta.....	52
6.1.2 Ympäristövaikutusindikaattorit .....	53
6.1.3 Uusiomateriaalit päästölaskennassa.....	54
6.2 Päästölaskennan tulokset.....	55

6.2.1	Esimerkkikohteen kokonaispäästöt rakenneosittain .....	55
6.2.2	Lentotuhkan käyttö pilaristabiloinnissa .....	57
6.2.3	Betonimurske kiviaineksen korvaajana .....	57
6.2.4	Kevennysrakenne kevytsorasta tai vaahtolasimurskeesta.....	59
6.2.5	Pohjatuhka kiviaineksen korvaajana penkereessä .....	60
6.2.6	Suurin laskennallinen päästövähennys .....	61
7	Johtopäätökset ja yhteenveto .....	63
7.1	Infrarakentamisen päästölaskenta ja ympäristökestävyysindikaattorit .....	63
7.2	Uusiomateriaalien huomioiminen päästölaskennassa ja päästölaskennan epävarmuudet.....	64
7.3	Suositukset ja jatkotutkimustarpeet.....	66
	Lähdeluettelo .....	68
	Haastattelut ja puhelinkeskustelut .....	75
	Liiteluettelo.....	76

## Lyhenteet ja merkinnät

ADP	Uusiutumattominen luonnonvarojen ehtyminen (Abiotic Dep- letion Potential)
AP	Happamoittavat päästöt (Acidification Potential)
BeM	Betonimurske
BIM	Rakennuksen tietomalli (Building Information Model)
CaCO <sub>3</sub>	Kalsiumkarbonaatti
CaO	Kalkki eli kalsiumoksidi (CaO)
CEN/TC	Eurooppalaisen standardisointijärjestön CEN:n tekninen komitea
CO	Hiilimonoksidi (häkä)
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
CH <sub>4</sub>	Metaani
EIMI	Environmental IMpacts of Infrastructure -arviointijärjestelmä
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EoW	End-of-Waste (Jätteeksi luokittelun päättyminen)
EP	Rehevöitymistä aiheuttavat päästöt (Eutrophication Potential)
Ekv.	Ekvivalentti
EPD	Rakennustuotteen ympäristöseloste (Environmental Product De- claration)
GPP	Ympäristöä säästävä julkinen hankinta (Green Public Procu- rement)
GWP	Kasvihuonekaasupäästöt (Global Warming Potential)
HF	Fluorivety
HCl	Suolahappo
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
LCA	Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment)
LCC	Elinkaarikustannukset (Life Cycle Costs)
LCI	Inventaarioanalyysi (Life Cycle Inventory)
LCIA	Vaikutusarviointi (Life Cycle Impact Assessment)
MARA	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 843/2017)
NMVOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet poislukien metaani (Non-Met- hane Volatile Organic Compounds)
NPRA	Norwegian Public Roads Administration
N <sub>2</sub> O	Dityppioksidi
NO <sub>x</sub>	Typen oksidit
ODP	Yläilmakehän otsonia tuhoavien aineiden päästöt (Ozone Dep- letion Potential)
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
POCP	Alailmakehän otsonia muodostavien aineiden päästöt (Photoche- mical Ozone Creation Potential)
PM	Hiukkaset (Particulate matter)
Sb	Antimoni
SO <sub>2</sub>	Rikkidioksidi
SO <sub>x</sub>	Rikin oksidit
STA	Swedish Transport Administration
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds)
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenettely

# 1 Johdanto

## Käsitteet

### Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi (engl. Life Cycle Assessment, LCA) on menetelmä, jonka avulla voidaan arvioida tuotteen, toiminnan tai palvelun koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Elinkaariarviointi soveltuu myös infrahankkeiden ympäristövaikutusten arvioimiseen. Elinkaariarvioinnissa arvioidaan ympäristövaikutuksia useissa ympäristövaikutusluokissa, joita ovat esimerkiksi ilmastomuutos, rehevöityminen, happamoituminen sekä luonnonvarojen ehtyminen. Pelkkiin kasvihuonekaasupäästöihin keskittyvää elinkaariarviointia kutsutaan hiilijalanjälkilaskennaksi.

### Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki (engl. Carbon Footprint) on menetelmä, jonka avulla voidaan laskea tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt.

### Indikaattori

Indikaattoreita käytetään yksinkertaistamaan monimutkaisia ilmiöitä koskevaa tietoa helpommin ymmärrettävään muotoon ja niiden avulla voidaan myös seurata ilmiöiden muuttumista ajan kuluessa. Ympäristövaikutusindikaattorit kuvaavat ympäristövaikutusten suuruutta.

### Infrarakentaminen

Infrarakentaminen on infrastruktuurin rakentamista. Infrarakentamiseen kuuluvat yhteiskunnan toimimisen kannalta välttämättömät tekniset rakenteet kuten kadut, tiet, radat, tunnelit ja sillat.

### Maarakentaminen

Maarakentaminen on osa laajempaa infrarakentamisen kokonaisuutta. Maarakentamisella tarkoitetaan kaikkea rakentamiseen (infra- ja talonrakennus) liittyvää maansiirtämistä, louhimista, aluskasvillisuuden poistoa ja viherrakentamista sekä penkereen ja sitomattomien rakennekerrosten rakentamista.

### Perinteinen materiaali

Tässä diplomityössä perinteisellä materiaalilla tarkoitetaan maarakentamisessa käytettäviä materiaaleja, jotka eivät ole uusiomateriaaleja. Maarakentamisen perinteiset materiaalit ovat tyypillisesti luonnonkiviaineita.



## **Päästö**

Ihmistoiminnasta johtuva aineen tai energian ei-toivottu siirtymä päästölähteestä ympäristöön (Tieteen termipankki 2019a).

## **Päästölaskenta**

Esimerkiksi rakennushankkeesta aiheutuvien päästöjen arvioiminen. Päästölaskennassa huomioon otettavien päästöjen laajuus vaihtelee tapauskohtaisesti. Myös elinkaariarviointi ja hiilijalanjälkilaskenta ovat päästölaskentaa, mutta päästölaskenta voi olla myös suppeampi ja kattaa esimerkiksi vain tietyn osan tarkasteltavan kohteen elinkaaresta.

## **Uusiomateriaali**

Tässä diplomityössä uusiomateriaaleilla (engl. *secondary materials* tai *recovered materials*) tarkoitetaan monenlaisia sekundäärisiä materiaaleja, jotka soveltuvat sellaisenaan tai jalostettuina käytettäväksi maarakentamisessa. Uusiomateriaalit voivat olla sivutuotteita (esim. kuonat), jätteitä (esim. betonimurske), kierrätystuotteita (esim. vahtolasimurske) tai ylijäämämaita. Termiä uusiomateriaali ei sellaisenaan tunneta lainsäädännössä tai standardeissa.

## **Uusiomaarakentaminen**

Uusiomaarakentamisella tarkoitetaan uusiomateriaalien hyötykäyttöä maarakentamisessa. Uusiomateriaaleilla voidaan korvata luonnon kiviaineita maarakentamisessa.

## **Ympäristökestävyys**

Ympäristökestävyys (myös ekologinen kestävyys, engl. *environmental sustainability*) on yksi kestävä kehityksen osa-alue. Ympäristökestävyys maarakentamisessa on osa laajempaa kestävä rakentamisen käsitettä, joka ottaa huomioon myös rakentamisen taloudelliset ja sosiaaliset näkökohdat. Ympäristökestävyydellä tarkoitetaan sitä, että pyritään minimoimaan hankkeesta aiheutuvat haitalliset ympäristövaikutukset ja turvaamaan luonnonvarojen kestävä käyttö, luonnon monimuotoisuuden säilyminen sekä ekosysteemien toimivuus.

## **Ympäristövaikutus**

Jonkin tekijän tai joidenkin tekijöiden aiheuttama muutos ympäristössä (Tieteen termipankki 2019b).

## 1.1 Työn tausta

Päästöjen vähentäminen sekä luonnonvarojen kestävä käyttö ovat perusedellytyksiä matkalla kohti kestävämpää yhteiskuntaa. Ympäristöasioiden huomioiminen on kasvussa myös infra-alalla. Infrarakentamisessa käytetään suuria määriä materiaaleja sekä monia sellaisia materiaaleja, joiden valmistuksella on suuret kasvihuonekaasupäästöt, kuten betonia ja asfalttia. Jotta infrastruktuurin rakentamisen ympäristövaikutuksia voidaan vähentää, tarvitaan työkaluja ja menetelmiä vaihtoehtoisten ratkaisujen ympäristökuormituksen arvioimiseen.

Uusiomaarakentamisella tarkoitetaan uusiomateriaalien hyödyntämistä maarakentamisessa. Uusiomaarakentamisella pyritään vähentämään uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä korvaamalla luonnonkiviaineita uusiomateriaaleilla, joita saadaan esimerkiksi teollisuuden sivutuotteista ja jätteistä, lievästi pilaantuneista maista, purettavista rakennuksista ja rakenteista sekä vanhojen maarakenteiden materiaaleista. (UUMA3, 2018a.) Uusiomateriaaleja voidaan käyttää maarakentamisessa korvaamaan luonnonkiviaineita joko sellaisenaan tai komponentteina (Inkeröinen & Alasaarela, 2010). Uusiomateriaaleja voidaan käyttää myös parantamaan luonnonmateriaalien ominaisuuksia, esimerkiksi lentotuhkaa voidaan käyttää sideaineena heikkolaatuisen maa-aineksen stabiloinnissa (Torniainen & Sikiö, 2018).

Suomessa käytetään rakentamiseen vuodessa noin 100 miljoonaa tonnia kiviaineksia, josta määrästä noin 40 % kuluu teiden rakentamiseen (Lonka & Loukola-Ruskeeniemi, 2015; Inkeröinen & Alasaarela, 2010). Kiviaineshuolto on mahdollinen toimiala, jolla voidaan vähentää rakennetun ympäristön päästöjä pienentämällä kiviraaka-aineen hiilijalanjälkeä ja lyhentämällä kuljetusmatkoja (Lonka & Loukola-Ruskeeniemi, 2015). Uusiomateriaalien käyttö luonnonkiviainesten korvaajina on tehokas keino materiaalitehokkuuden edistämiseen. Uusiomateriaalien käytöllä voidaan vähentää neitseellisten luonnonvarojen kulutusta ja niiden jalostamiseen tarvittavaa energiankäyttöä. Joidenkin uusiomateriaalien osalta Suomessa on kokemusta materiaalien käytöstä maarakentamisessa jo yli 30 vuoden ajalta (Inkeröinen & Alasaarela, 2010). Uusiomateriaalien käytön lisääminen maarakentamisessa on johtunut pääasiallisesti tavoitteesta säästää luonnonkiviaineksia (Torniainen & Sikiö 2018), mutta tulevaisuudessa myös kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteet sekä kiertotalouden edistäminen tulevat olemaan merkittäviä syitä uusiomateriaalien käyttöön.

Suomessa monet kunnat ovat asettaneet tavoitteita kasvihuonekaasupäästöjen ja energiankulutuksen vähentämiseksi sekä materiaalitehokkuuden edistämiseksi. Rakennetulla ympäristöllä on merkittävä rooli kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä sekä materiaalitehokkuuden kehittämisessä. Esimerkiksi Helsingin kaupungin laatimassa toimenpideohjelmassa *Hiilineutraali Helsinki 2035* yhtenä toimenpiteenä on mainittu kaupungin rakennushankkeiden ja infrarakentamisen elinkaaripäästöjen minimointi (Helsingin kaupunki, 2018). Tulevaisuudessa päästölaskenta yleistyy myös osana infrarakennushankkeiden suunnittelua.

Hankekohtaista päästölaskentaa voidaan käyttää apuna eri toteutusvaihtoehtojen vertailuun ja päästölaskennan avulla voidaan tunnistaa ratkaisut, joilla saadaan aikaan päästövähennyksiä (Ramboll, 2017). Tällä hetkellä Suomessa ei ole olemassa kansallista ohjeistusta siitä, miten infrahankkeiden päästölaskenta tulisi toteuttaa, esimerkiksi mitä indikaattoreita laskennassa tulee käyttää tai mitkä kaikki vaiheet päästölaskennassa tulee ottaa huomioon. Uusiomateriaalien enenevä käyttö maarakentamisessa luo uusia haasteita päästölaskentaan. Kaikille uusiomateriaaleille ei esimerkiksi ole yleisesti hyväksyttyjä päästökertoimia ja toistaiseksi käytännöt siitä, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet otetaan huomioon

päästölaskennassa, eivät ole yhtenäiset. Nämä asiat vaikuttavat kuitenkin siihen, miten uusiomateriaalien käyttöä voidaan perustella rakennushankkeessa aikaansaatuja päästövähennysten kautta (Ramboll, 2017). Jotta infrahankkeiden päästölaskelmat olisivat vertailukelpoisia, tulisi laskentojen suorittamiseen olla yhteiset ohjeet siitä, miten uusiomateriaalit tulee ottaa laskennoissa huomioon.

## **1.2 Uusiomateriaaleihin ja infrarakentamisen päästölaskentaan liittyvät hankkeet ja tutkimukset**

Uusiomateriaalien käytön lisäämistä maarakentamisessa on tarkasteltu UUMA-ohjelmissa, joissa on mukana lukuisia toimijoita sekä julkiselta että yksityiseltä sektorilta. Ensimmäinen UUMA-kehitysohjelma toteutettiin vuosina 2006-2010 ja sen tavoitteena oli lisätä uusiomateriaalien käyttöä sekä vähentää luonnonvarojen käyttöä ja jätteen syntymistä maarakentamisessa (Inkeröinen & Alasaarela, 2010). Ohjelma sai jatkoa UUMA2-ohjelmalla, joka toteutettiin vuosina 2013-2017. UUMA2 -ohjelman tavoitteena oli edistää uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa ja sitä kautta vähentää neitseellisten materiaalien käyttöä sekä maarakentamisen ympäristövaikutuksia. Ohjelmassa keskityttiin erityisesti uusiomateriaalien tuotteistamiseen sekä tilaajien suunnittelun ja hankinnan kehittämiseen (UUMA3, 2018b). UUMA2-ohjelman jälkeen käynnistettiin UUMA3-ohjelma vuosille 2018-2020. Kolmannessa UUMA-ohjelmassa on tarkoitus viedä uusiomaarakentaminen entistä konkreettisemmalle tasolle kaupunkien ja Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) rakentamistoiminnassa (UUMA3, 2018c).

Infrarakentamisen elinkaariarviointia tai muuta päästölaskentaa ei ole Suomessa tehty vielä kovin laajasti. Helsingin Kivikon eritasoliittymää on käytetty esimerkkitapahtumana muutamissa päästölaskenta- ja elinkaariarviointiselvityksissä. Vuonna 2013 alkaneessa Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) pilottiprojektissa testattiin Rola-työkalun käyttöä tuolloin suunnitteluvaiheessa olleen Kivikon eritasoliittymähankkeen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskennassa. (Aulakoski ym., 2014.) Kivikon eritasoliittymän ympäristövaikutuksia on laskettu myös hankkeessa, jossa pilotoitiin EN-standardeja noudattavan elinkaariarviointi- ja hiilijalanjälkimenetelmän käyttöä (Pasanen & Miilumäki, 2017a).

Vuonna 2017 Kivikon eritasoliittymän katuhanke toimi esimerkkitapahtumana Helsingin kaupungin rakennusviraston teettämässä hankkeessa, jossa vertailtiin infrarakennushankkeiden vaihtoehtoisia päästölaskentamenetelmiä (Ramboll, 2017). Selvityksessä vertailtiin neljällä eri laskentamenetelmällä saatuja tuloksia, arvioitiin menetelmien soveltuvuutta Helsingin infrahankkeiden päästölaskentaan sekä annettiin ohjeita infrahankkeiden päästölaskennan kehittämiseksi. Selvityksen mukaan eri päästölaskentaohjelmilla saatujen tulosten vaihtelu oli suuri, vaikka laskennan lähtötiedot ja laskennassa huomioon otavat rakenneosat olivat kaikilla samat. Eroja havaittiin eri ohjelmilla tehtyjen laskentojen rajauksissa, sisällöissä sekä käytetyissä päästökertoimissa. Työsuorituksia oli huomioitu laskennoissa hyvin eri tarkkuudella ja yhdessä laskennassa eli oltu huomioitu rakentamiseen liittyviä työmaatoimintoja lainkaan, vaan ainoastaan materiaalien valmistus ja kuljetus. Selvityksen johtopäätöksenä todettiin, että infrahankkeiden päästölaskelmien saamiseksi vertailukelpoisiksi tulisi luoda yhteiset materiaali- ja työvaihekohtaiset pelisäännöt päästölaskelmien suorittamiseen.

Liikennevirasto (nyk. Väylävirasto) laski vuonna 2011 tien- ja radanpidon hiilijalanjälkiä neljälle tieosuudelle, neljälle rataosuudelle ja kolmelle ratapihalle. Laskelmien perusteella tehtiin arvio Suomen koko maantieverkon (noin 78 000 km) hiilijalanjäljestä. Laskelmissa arvioitiin case-laskelmien perusteella väylien rakentamisesta aiheutuneet CO<sub>2</sub>-päästöt ja 100 vuoden tarkastelujakson aikana syntyvät kunnossapidon päästöt. Kaikki nämä päästöt laskettiin yhteen ja jaettiin 100 vuodelle. Suomen maantieverkon hiilijalanjäljeksi saatiin tällä menetelmällä noin 511 000 t CO<sub>2</sub> per vuosi. (Hagström ym., 2011.) Suomen tieliikenteen vuotuiset päästöt puolestaan ovat vuodessa noin 10 milj. t CO<sub>2</sub> (VTT, 2017a) ja Tilastokeskuksen mukaan Suomen kokonaishiilidioksidipäästöt vuonna 2017 olivat 45 milj. t CO<sub>2</sub> (Tilastokeskus, 2017).

Parhaillaan käynnissä olevassa pohjoismaisessa NordLCA-hankkeessa kolme pohjoismaista kansallista liikennevirastoa - Suomen Väylävirasto, Norwegian Public Roads Administration (NPRA) ja Swedish Transport Administration (STA) tekevät yhteistyötä infrarakentamisen elinkaariarvioinnin (LCA) työkalujen ja menetelmien kehittämiseksi. NordLCA-hankkeen päätavoite on lisätä pohjoismaista yhteistyötä, nopeuttaa LCA-menetelmien kehittämistä, kehittää elinkaarilaskentaa koskevaa ohjeistusta ja yhdistää LCA rakennustietomalli BIM:in ja elinkaarikustannustyökalu LCC:n kanssa. NordLCA-hanke pyrkii myös luomaan yhteiset perusteet vihreiden julkisten hankintojen kriteereille. (NordLCA, 2018.)

Tierakentamisessa käytettävien uusiomateriaalien ja tavanomaisten materiaalien ympäristövaikutuksia on vertailtu useissa ulkomaisissa elinkaariarviointitutkimuksissa (Balaguera ym., 2018). Balagueran ym. (2018) tekemän katsauksen mukaan tierakentamisen elinkaariarvioinneissa yleisimmin analysoidut ympäristövaikutusluokat ovat energiankulutus sekä kasvihuonekaasupäästöt, ja useissa elinkaariarvioinneissa on huomioitu ainoastaan nämä vaikutusluokat. Tien käyttövaiheen aikaiset liikenteen päästöt on yleensä jätetty tarkastelun ulkopuolelle elinkaariarvioinneissa, joiden tarkoituksena on vertailla tien rakentamisessa käytettäviä materiaaliveikkoja (Celauro ym., 2015.) Tie- ja katurakentamisen elinkaariarviointitutkimuksista kerrotaan lisää kappaleessa 3.1.3.

### **1.3 Työn rakenne, tavoitteet ja rajaukset**

Infra-alalla on havaittu tarve kehittää menetelmiä, joilla voidaan arvioida infrarakentamisen ympäristökestävyyttä. Erityisesti uusiomateriaalien huomioiminen päästölaskennassa on melko uusi asia, johon ei ole vielä olemassa yhtenäisiä menettelytapoja. Tämän diplomityön tarkoituksena oli tuottaa tietoa siitä, miten infrarakentamisen päästölaskentaa tulisi kehittää. Diplomityön painopiste oli päästölaskennassa, mutta työn kirjallisuusosiossa avataan ja taustoitetaan ympäristökestävyyssaihetta hieman laajemmin. Diplomityössä esimerkkikohteena on tierakenne, mutta työn tulokset ovat sovellettavissa laajemminkin infrarakentamiseen.

Diplomityössä pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä indikaattorit ovat tärkeimpiä infrarakentamisen ympäristökestävyyssarvioinnissa?
- Miten uusiomateriaalien käyttö vaikuttaa tiehankkeen rakentamisvaiheen CO<sub>2</sub>-päästöihin?
- Miten se, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet otetaan huomioon päästölaskennassa, vaikuttaa päästölaskennan tuloksiin?

Diplomityön alussa taustoitetaan tie- ja katurakentamisen vaiheita esimerkkinä infrarakennushankkeesta ja esitellään infrarakentamisessa käytettäviä uusiomateriaaleja. Diplomityön kirjallisuusosiossa käydään läpi menetelmiä, joita voidaan käyttää infrahankkeiden ympäristövaikutusten arvioimisessa, sekä käytössä olevia ympäristövaikutusindikaattoreita ja niihin liittyviä mahdollisia ongelmia ja rajoitteita. Työssä käydään läpi myös rakentamisen ympäristökestävyysarviointia ohjaavia standardeja sekä selvitetään, millaista ohjeistusta on olemassa uusiomateriaalien huomioimisesta päästölaskennassa.

Diplomityön kokeellinen osa koostuu asiantuntijahaastatteluista sekä päästölaskentaesimerkistä. Asiantuntijahaastattelujen tarkoituksena oli kartoittaa, millainen on infrarakentamisen päästölaskennan nykytila Suomessa ja mitä haasteita ja kehitystarpeita siihen liittyy. Haastattelujen tarkoituksena oli myös selvittää, mitkä indikaattorit ovat eri toimijoiden mielestä tärkeitä infrarakentamisen ympäristökestävyysarvioinnissa, ja miten uusiomateriaalit on huomioitu jo tehdyissä infrahankkeiden elinkaariarvioinneissa.

Päästölaskentaesimerkin tarkoituksena oli selvittää, miten uusiomateriaalien käyttö vaikuttaa infrahankkeen rakentamisvaiheen CO<sub>2</sub>-päästöihin. Lisäksi tarkasteltiin, miten se, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet otetaan päästölaskennassa huomioon, vaikuttaa päästölaskennan tuloksiin sekä mitä muita epävarmuustekijöitä päästölaskentaan liittyy. Päästölaskentaesimerkissä tarkasteluun otettiin mukaan vain tiehankkeen rakentamisvaihe, ei esimerkiksi ylläpitoa tai kunnostusta. Päästölaskentaesimerkki tehtiin MELI-ohjelmalla. Diplomityön päästölaskentaesimerkissä keskityttiin ainoastaan hiilidioksidipäästöihin. Uusiomateriaalien käytön taloudellisia vaikutuksia tai vaikutuksia esimerkiksi tien pitkäaikaiskestävyyteen ei otettu tässä työssä huomioon.

Tulosten pohjalta ehdotetaan laadittavaksi kansallinen ohjeistus infrarakentamisen päästölaskennan toteuttamisesta ja kuvataan, mitä tämän tulisi sisältää. Ohjeistus mahdollistaisi tulevaisuudessa vertailukelpoiset infrarakentamisen päästölaskennat.

## 2 Tie- ja katurakentaminen ja uusiomateriaalit

### 2.1 Tie- ja katusuunnittelun vaiheet

Sekä suunniteltaessa uutta tietä että olemassa olevan tien parantamista suunnittelun on perustuttava maankäyttö- ja rakennuslain mukaiseen kaavaan. Tie- ja katurakentamisen suunnitteluprosessissa on neljä vaihetta: esiselvitys, yleissuunnittelu, tiesuunnittelu sekä rakennussuunnittelu. Hankkeen ympäristövaikutuksia arvioidaan kaikissa suunnittelun vaiheissa muodostettaessa ja vertailtaessa eri vaihtoehtoja sekä valintoja tehtäessä. Vaikutusten arviointi edellyttää yhteistyötä tien suunnittelijoiden, ympäristöviranomaisten sekä eri alojen asiantuntijoiden välillä. (Liikennevirasto, 2010a.)

Esiselvitysvaiheessa selvitetään tiehankkeen tarve ja ajoitus yleiskaavaan ja maakuntakaavaan. Esiselvitysvaiheessa tien sijainnista voi olla useampia vaihtoehtoisia linjauksia (Liikennevirasto, 2010a). Esiselvitysvaiheessa tehdään alustavia vaikutusarviointoja tiehankkeesta, kuten yleispiirteinen ympäristövaikutusselvitys, jonka tarkoituksena on kuvata eri ratkaisuvaihtoehtojen välisiä eroja ja toteuttamiskelpoisuutta (Tiehallinto, 2009).

Yleissuunnittelu vastaa yleiskaava- tai asemakaavatasoista maankäytön suunnittelua. Yleissuunnitteluvaiheessa suunnitellaan tien likimääräinen sijainti, kytkennät olemassa olevaan tiestöön sekä tien suhde ympäröivään maankäyttöön. Tässä vaiheessa suunnitellaan tien liikenne- ja tekniset perusratkaisut sekä ympäristöhaittojen torjumisen periaatteet. Tässä vaiheessa tehdään myös ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA, ks. sivu 24), mikäli lainsäädäntö sitä edellyttää. Yleissuunnitelma on tiehankkeeseen vaikuttamisen kannalta tärkein suunnitteluvaihe, sillä yleissuunnitelmassa määräytyy tien sijainti, laatu sekä vaikutukset ihmisiin ja ympäristöön. Yleissuunnitelman jälkeen hankkeesta tehdään hyväksymispäätös. Hyväksytyn päätöksen jälkeen hanke voidaan sisällyttää lähivuosien toteuttamissuunnitelmiin. Yleissuunnitelmassa hyväksytyt periaatteelliset asiat ei yleensä käsitellä enää tiesuunnitelmavaiheessa. (Liikennevirasto, 2010a.)

Tiesuunnitelmavaiheessa tehdään tien toteutukseen tähtäävää yksityiskohtaista suunnittelua. Tiesuunnitelmavaiheessa päätetään tien tarkka sijainti ja tarvittava tiealue, liittymät muihin teihin, muut tiejärjestelyt sekä kevyen liikenteen ja joukkoliikenteen järjestelyt. Tiesuunnitelmassa esitetään arvio tien vaikutuksista sekä tien haitallisten vaikutusten torjumiseksi tai lieventämiseksi tehtävät yksityiskohtaiset toimenpiteet. Tiesuunnitelmaan liitetään myös tien kustannusarvio. Tiesuunnitelmasta tehdään hyväksymispäätös, joka oikeuttaa tienpitäjän tietä varten tarvittavien alueiden haltuun ottamiseen. (Liikennevirasto, 2010a; Liikennevirasto, 2010b.)

Rakennussuunnittelu on hankkeen välittömään toteuttamiseen liittyvää suunnittelua ja tehdään vasta, kun hankkeen rahoitus on järjestetty. Rakennussuunnitelman laatimisesta vastaa usein urakoitsija. Rakennussuunnitteluvaiheessa laaditaan rakentamisessa tarvittavat asiakirjat. (Liikennevirasto, 2010a.)

Varsinainen tien rakentaminen alkaa yleensä tarvittavan rakennusalueen raivauksella. Jos rakennettavalla alueella on olemassa olevia rakenteita, näiden rakenteiden purkaminen kuu-

luu myös rakennusprosessin ensimmäisiin työvaiheisiin. (Korkiala-Tanttu, 2018.) Kappaleessa 2.3 on selostettu tarkemmin tien eri rakennekerrokset ja tierakentamisen päävaiheet on esitetty kuvassa 2.

Teiden ja katujen käyttövaiheeseen kuuluvat oleellisesti ylläpito sekä huolto. Ylläpito on tärkeää liikenneturvallisuuden ylläpitämiseksi. Tien kunnossapidon tarve vaihtelee riippuen esimerkiksi käytetyistä materiaaleista, tien käyttöasteesta ja sääolosuhteista. (Kilpinen, 2008.) Tien kunnossapitotarvetta arvioidaan kuntoa kuvaavien tunnuslukujen arvojen sekä niiden ennustetun kehittymisen avulla. Esimerkiksi urien syvyys ja tien pinnan tasaisuus ovat merkittäviä turvallisuuteen vaikuttavia ominaisuuksia (Eskola, 1999; Liikennevirasto, 2015.)

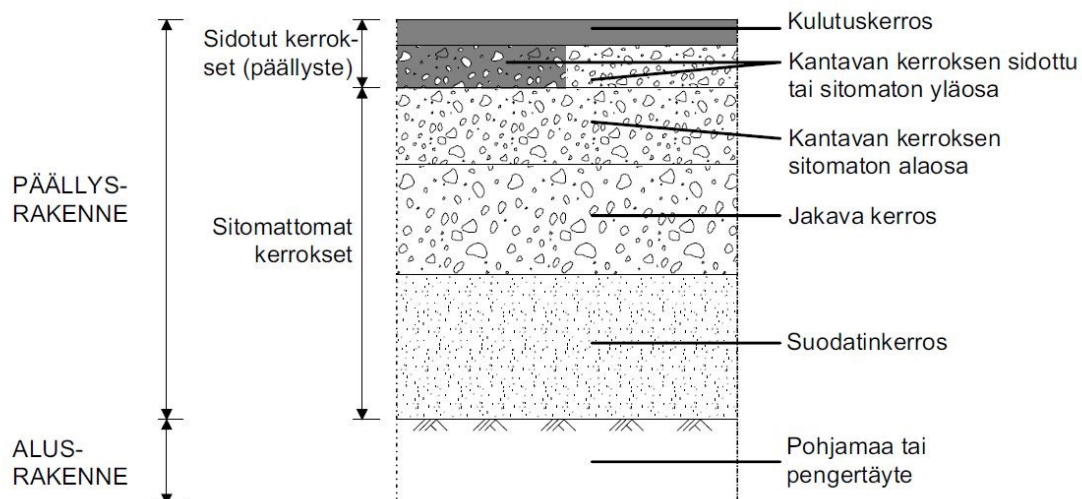
## **2.2 Tie- ja katurakentamisen toimijat ja urakkamuodot**

Suomessa maanteiden ylläpitäminen kuuluu valtiolle, jonka puolesta tienpitäjänä toimii Väylävirasto. Väylävirasto ohjaa alueellisia elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksia (ELY-keskukset), jotka vastaavat alueensa tienpidon tehtävien hoitamisesta ja teettävät yrityksillä maanteiden suunnittelun, rakentamisen sekä kunnossapidon. Väylävirasto vastaa kuitenkin isojen rakentamishankkeiden toteuttamisesta. (Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 503/2005.) Maanteiden suunnittelua ohjaa laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä (503/2005) sekä muut maankäytön suunnittelua koskevat lait. Kaupunkialueilla tai taajamissa sijaitsevien katujen rakentaminen ja ylläpito kuuluvat puolestaan kunnille. Teiden ja katujen lisäksi erityisesti haja-asutusalueilla on yksityisiä teitä, joiden rakentaminen ja ylläpito ovat omistajan vastuulla. (Liikennevirasto, 2010a.)

Tie- ja katurakentamisen toteutukseen on olemassa erilaisia urakkamuotoja. Käytetyin urakkamuoto on kokonaisurakka, jolloin tilaaja tilaa erikseen suunnittelun ja rakentamisen. ST-urakkamallissa (suunnittele ja toteuta) puolestaan tilaaja tilaa samalta konsortiolta sekä suunnittelun että rakentamisen. Projektinjohtomallissa (PJ-malli) tilaaja hankkii projektinjohto-organisaation hoitamaan suunnittelun ja rakentamisen hankinnan. Projektinjohto-organisaatio osallistuu myös työn ohjaamiseen. Allianssiurakassa yhteisvastuulliseen projektiin kuuluvat tilaaja, suunnittelijat sekä urakoitsijat. (Petäjäniemi, 2018.)

## **2.3 Tien ja kadun rakenne**

Teiden ja katujen rakenne koostuu alus- ja päällysrakenteista (Kuva 1). Tien rakennekerroksille on asetettu laatuvaatimukset InfraRYL:ssä, joka sisältää kuvauksen infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista. InfraRYL:ssä on asetettu tierakenteen toimivuusvaatimukset sekä rakenneosien tekniset laatuvaatimukset, jotka koskevat rakennustarvikkeita ja työn suoritusta (Rakennustietosäätiö, 2017). Tierakentamisen päävaiheet on esitetty kuvassa 2. Katurakenteet eroavat tierakenteista siten, että katurakenteisiin tulee voida sijoittaa vesihuollon, energiansiirron sekä tietoliikenteen johtoja ja kaapeleita. Katurakenteet tulee myös voida varustaa liikenteen ohjaamiseen tarvittavilla varusteilla ja laitteilla (Forsman, 2018).



Kuva 1. Tavanomainen tien rakenne (Belt ym., 2002).

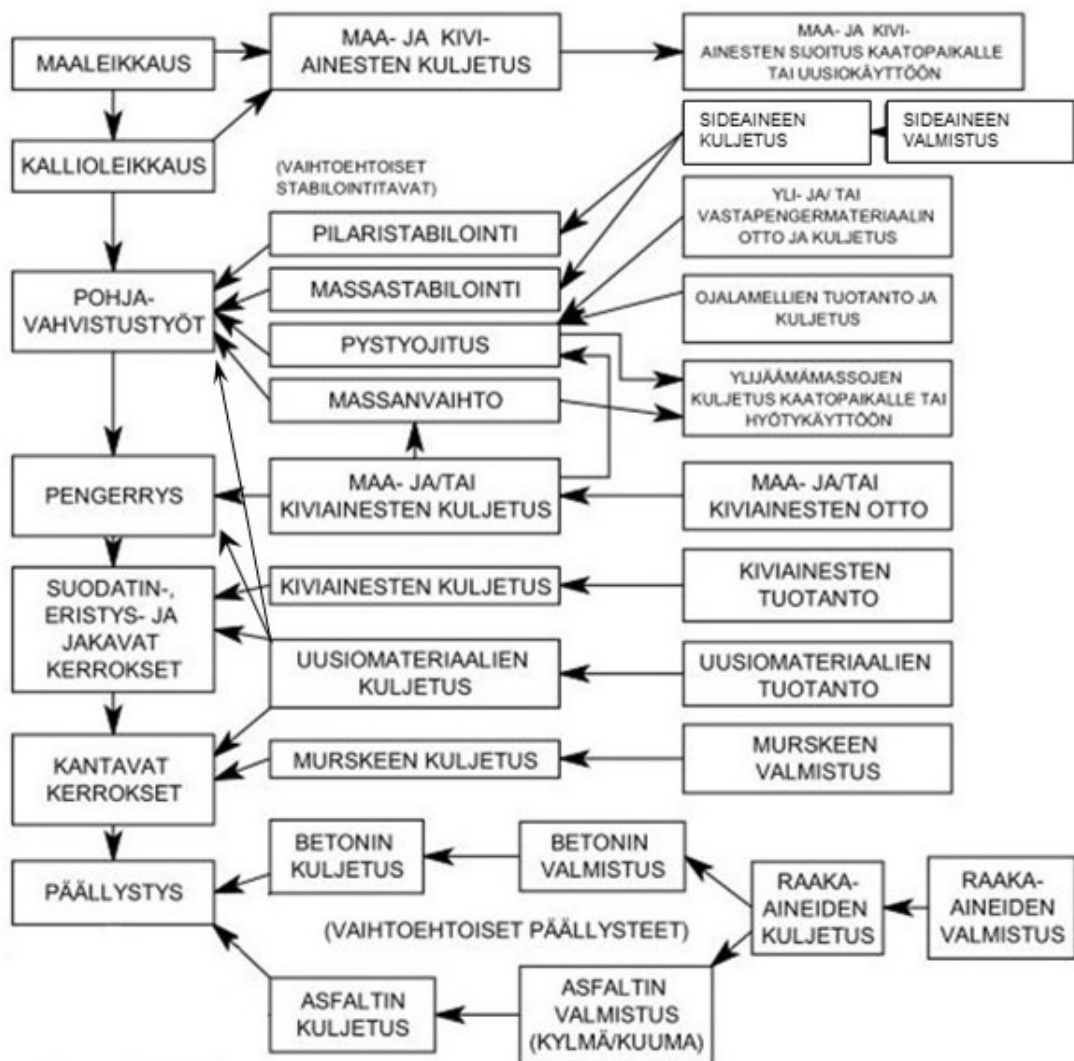
Pohjanvahvistusrakenteiden tarkoituksena on parantaa rakennuspaikalla olevan maan geoteknisiä ominaisuuksia. Pohjanvahvistusrakenteilla pyritään estämään rakenteen painuma tai pienentämään kokonaispainuma sallittavalle tasolle sekä varmistamaan maapohjan stabiiliteetti eli geotekninen kantokyky (Eskola ym., 1999). Pohjanvahvistusmenetelmiä ovat mm. lujitteet, esikuormitus, pystyjoitus, syvästabilointi ja syvätiivistys. Kevennys mainitaan usein pohjanvahvistusmenetelmänä, vaikka se ei varsinaisesti lisää pohjamaan lujuutta. Massanvaihto ja paalutus ovat pohjarakennusmenetelmiä.

Kevennyksessä korvataan maan pintakerroksia keveämmällä materiaalilla painumaa aiheuttavan kuorman pienentämiseksi. Kevennyksmateriaaleina voidaan käyttää esimerkiksi kevytsoraa, rengasrouhetta tai vaahtolasimurskettä. Lujitteilla puolestaan voidaan parantaa penkereen vakavuutta ja rakenteen kantavuutta. Lujitteina voidaan käyttää teräs- tai muoviverkkoja, teräspoimulevyjä, puuteloja tai lujitekankaita. Lujitteita voidaan käyttää myös kevennyksen ja stabiloinnin yhteydessä. Esikuormituksella (ylipenger) voidaan nopeuttaa painumia, tarkoituksena vähentää käytön aikaisia painumia. Esikuormitusta voidaan tehostaa käyttämällä pystyjoitusta. Pystyjoituksessa savikerrosten painumaa nopeutetaan pystysuuntaisilla ojilla, joiden avulla maahuokosista pusertuva vesi johdetaan maan pinnalle. Käytettäessä pohjarakennusmenetelmänä massanvaihtoa pehmeät luonnonmaamassat kaivetaan pois kovaan pohjaan tai määräsyyvyyteen asti ja korvataan ne karkearakeisemmilla täyttömassoilla. (Tammirinne, 2002; Liikennevirasto, 2014a.) Syvästabilointimenetelmiä ovat pilaristabilointi ja massastabilointi. Heikosti kantavaa maapohjaa lujitetaan syvästabiloinnissa sekoittamalla siihen sideainetta. Tavallisimmin käytettyjä sideaineita ovat kalkin ja sementin seokset, joiden joukossa voidaan käyttää myös teollisuuden sivutuotteita ja/tai jättemateriaaleja. Yleisimmin käytetty syvästabilointimenetelmä on pilaristabilointi, jossa tien ylärakenteista tuleva kuorma siirretään pilareilla joko kantavaan maapohjaan tai kokonaan tai osittain maakerrosten varaan. Massastabiloinnissa puolestaan maan huonosti kantava pintaosa stabiloidaan kokonaisuudessaan sideaineen avulla massastabiloinnin kannalta edullisissa olosuhteissa jopa kahdeksan metrin syvyyteen asti. Paalutuksessa kuorma siirretään paalujen avulla kantaviin maakerrokseen joko yhtenäistä laattaa tai paaluhattuja käyttäen. (Liikennevirasto, 2014a; Liikennevirasto 2018)



Usein tiepenger voidaan kuitenkin perustaa maanvaraisena ilman erikoistoimenpiteitä, mikäli painuma- ja vakavuuskriteerit niin sallivat. Penkereen vakavuutta voidaan parantaa esimerkiksi vastapenkereellä, joka toimii vastapainona penkereelle. Vastapenkereeseen kelpaavat usein huonolaatuisemmatkin maamassat. (Liikennevirasto, 2014a.)

Kuormituksen siirtorakenteiden tehtävänä on siirtää tien päällysrakenteisiin kohdistuva kuormitus pohjarakenteisiin ja varmistaa tien päällys- ja pohjarakenteiden yhteistoimivuus (Rakennustietosäätiö, 2017). Tien päällysrakenteiden rakennekerroksia ovat suodatinkerros, jakava kerros, kantava kerros sekä kulutuskerros tai päällyste. Suodatinkerroksen tehtävänä on katkaista pohjamaassa olevan veden kapillaarinen nousu, johtaa vesi pois tien rungosta sekä erottaa pohjamaa ja rakennekerrokset toisistaan. Jakava kerros jakaa kuormituksen tasaisesti pohjamaalle sekä ehkäisee routimisen haittavaikutuksia. Kantavan kerroksen tarkoituksena on tehdä tierakenteesta jäykkä ja jakaa liikenteen kuormitusta alempiin kerroksiin. Kulutuskerroksen tai päällysteen tehtävä ottaa vastaan liikenteen aiheuttama kuormitus sekä luoda tielle ehjä ja tasainen pinta. (Rakennustietosäätiö, 2017)



Kuva 2. Tierakentamisen päävaiheet (Eskola ym., 1999, muokattu).

## **2.4 Uusiomateriaalit tie- ja katurakentamisessa**

### **2.4.1 Uusiomateriaalien käyttö ja ominaisuudet**

Perinteiset maarakentamisessa käytettävät materiaalit ovat luonnosta saatavia maa- ja kiviaineksia, kuten sora, hiekka, louhe ja murske. Rakentamisessa käytettäviä luonnonkiviaineksia voidaan korvata uusiomateriaaleilla, joita ovat mm. ylijäämämaat, monet teollisuuden sivutuotteet ja jätteet, lievästi pilaantuneet maat sekä vanhojen maarakenteiden kierrätetyt materiaalit (Eskola, 1999; UUMA3, 2018a). Esimerkkejä tie- ja katurakentamisen eri osiin soveltuvista uusiomateriaaleista on lueteltu taulukossa 1.

Uusiomateriaaleja voidaan käyttää sitomattomina eli rakeisina materiaaleina tai sidottuina materiaaleina, jolloin sideaineena käytetään yleensä bitumia, kalkkia, sementtiä tai eri ainesosia sisältäviä sideaineita. Joitain uusiomateriaaleja voidaan käyttää myös sideaineina, kuten masuunihiekkaa tai kuivana varastoitua lentotuhkaa. Uusiomateriaalit käyttäytyvät yleensä hyvin samalla tavalla kuin sellaiset luonnonmateriaalit, joilla on vastaava raekoko. Osa uusiomateriaaleista kuitenkin eroaa luonnonmateriaaleista esimerkiksi sitoutumiskykynsä tai keveytensä ansiosta. (Liikennevirasto, 2014b.)

Jotta uusiomateriaaleja voidaan käyttää infrarakentamisessa, on arvioitava ja osoitettava niiden tekninen kelpoisuus sekä ympäristökelpoisuus. Uusiomateriaalien käyttöä tiehankkeissa voidaan kohdekohtaisesti rajoittaa esimerkiksi tekniseen kestävyYTEEN tai ympäristöhaittoihin liittyvien riskien takia. Uusiomateriaalien kilpailukykyyn perinteisiin materiaaleihin verrattuna vaikuttavat uusiomateriaalien tekniset ominaisuudet, ympäristöominaisuudet sekä kuljetusmatkojen pituus. Jotkut uusiomateriaalit ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan erinomaisia, esimerkiksi laadukkaat betonimurskeet ja masuunikuonatuotteet, joita voidaan käyttää sellaisinaan tierakenteen kantavassa tai jakavassa kerroksessa. Sen sijaan sellaisten uusiomateriaalien, jotka soveltuvat vain alempitaisoihin käyttökohteisiin, joihin on lähialueilta saatavilla myös ominaisuuksiltaan vähintään yhtä hyviä luonnonmateriaaleja, on vaikea kilpailla markkinoilla. (Liikennevirasto, 2014b.)

Jotta uusiomateriaalien käyttömahdollisuuksien arviointi sekä uusiomateriaalien hankinta olisi yhtä helppoa kuin perinteisillä materiaaleilla, uusiomateriaaleja on ryhdytty tuotteistamaan (Koivisto ym., 2016). Tuotteistamisen lähtökohta ovat uusiomateriaalille suunnitellun käyttökohteen toimivuusvaatimukset sekä tekniset vaatimukset, jotka materiaalin tulee täyttää. Käytännössä tuotteistaminen tarkoittaa sitä, että uusiomateriaalin ominaisuudet on tutkittu ja testattu luotettavalla tavalla, materiaalin valmistus- ja jalostusprosessi toimii luotettavasti ja materiaalille on laadittu tarvittavat dokumentit, esimerkiksi tuoteseloste sekä suunnittelu- ja käyttöohjeet (Liikennevirasto, 2014b; Koivisto ym., 2016). UUMA2-projektin yhteydessä on laadittu uusiomateriaalien tuotteistamisohje maarakentamiseen (Koivisto ym., 2016). Jo tuotteistettuja uusiomateriaaleja ovat esimerkiksi OKTO-tuotteet, vaahtolasi-murske ja betonimurske (Torniainen & Sikiö, 2018).

*Taulukko 1. Esimerkkejä tie- ja katurakenteiden eri osiin soveltuvista uusiomateriaaleista (UUMA-käsikirjasto, 2018).*

InfraRYL-rakennusosa	Uusiomateriaali
21322 Stabiloidut kantavat kerrokset	Olemassa olevan tierakenteen kantavan kerroksen murske, Lentotuhka, Masuunihiekka
21300 Kantavat kerrokset	Asfalttijäte, Betonimurske
21210 Jakavat kerrokset	Betonimurske, Tiilimurske, Jätteenpolton pohjakuona, Lentotuhka, Pohjatuhka, Leijupetihiekka, Granuloitu masuunikuona, Ilmajäähdytetty masuunikuona, Konvertterikuona
21110 Suodatinkerrokset	Betonimurske, Tiilimurske, Jätteenpolton pohjakuona, Pohjatuhka ja leijupetihiekka, Valimohiekka, Granuloitu masuunikuona, Ilmajäähdytetty masuunikuona, Konvertterikuona, Ferrokromikuona
18150 Vastapenkereet	Kaivumaa, Jalostettu kaivumaa, Betonimurske, Tiilimurske, Jätteenpolton pohjakuona, Pohjatuhka, Leijupetihiekka
18150 Kevennetyt penkereet	Vahtolasimurske, Rengasrouhe ja kokonaiset renkaat
18110 Maapenkereet (tie, katu, tms. penger - "liikennekuormitettu")	Kaivumaa, Jalostettu kaivumaa, Betonimurske, Tiilimurske, Jätteenpolton pohjakuona (käsitelty), Lentotuhka, Pohjatuhka, Leijupetihiekka, Valimohiekka
18110 Maapenkereet (meluvallit - "ei liikennekuormitettu")	Kaivumaa, Jalostettu kaivumaa, Betonimurske, Tiilimurske, Jätteenpolton pohjakuona (käsitelty), Lentotuhka, Pohjatuhka ja leijupetihiekka, Valimohiekka

Uusiomateriaalit voidaan jaotella sen mukaan, ovatko ne ympäristölainsäädännön alaisia jätteitä vai tuotelainsäädännön alaisia tuotteita (Liikennevirasto, 2014b; Koivisto ym., 2016). Huomattava osa uusiomateriaaleista luokitellaan jätteeksi, minkä vuoksi niitä koskee jätelainsäädäntö sekä vuonna 2011 voimaan astunut jäteverolain (1126/2010) uudistus (Torniainen & Sikiö, 2018). Jätteeksi luokitellut uusiomateriaalit voidaan jaotella edelleen sen mukaan, tarvitaanko niiden käyttöön ympäristölupa vai riittääkö ympäristönsuojelulain mukainen ilmoitus (Liikennevirasto, 2014b; Koivisto ym., 2016).

Uusiomateriaalit voidaan luokitella myös niiden syntyvän mukaan (UUMA-käsikirjasto, 2018). Tienrakennuksessa käytettäviä uusiomateriaaleja syntyy esimerkiksi rakennus- ja purkujätteen kierrätystoiminnasta sekä energiantuotannon ja metallurgisen teollisuuden sivutuotteina. Myös joitakin yhdyskunnassa syntyviä jätteitä, kuten autonrenkaita, voidaan hyödyntää uusiomateriaaleina maarakentamisessa (Tiehallinto, 2007). Myös kaivosteollisuudessa syntyvä sivukivi, jota syntyy valtavia määriä vuosittain, voidaan luokitella uusiomateriaaliksi. Kaivosteollisuuden sivukivet syntyvät kuitenkin usein niin kaukana infrarakennuskohteista, ettei niiden käyttö ole kannattavaa (Liikennevirasto, 2014b).

### **Energiantuotannon sivutuotteet**

Polttoprosesseissa palamattomista aineista muodostuu tuhkaa. Tuhkat voidaan luokitella niiden keräyspaikan mukaan pohjatuhkiin ja lentotuhkiin, sekä polttoprosessin polttoaineen mukaan kivihiilen polton, seospolton ja rinnakkaispolton tuhkiin. Tuhkan laatuun vaikuttavat polttoaineen koostumus, polttolaitoksen tyyppi, polttolämpötila sekä tuhkanerotuspro-

sessi. Tuhkat luokitellaan Suomessa lähtökohtaisesti jätteeksi, minkä vuoksi niiden hyödyntäminen maarakentamisessa vaatii joko rekisteröinti-ilmoituksen tai ympäristöluvan. Jätetähtuksen vuoksi tuhkien tekninen kelpoisuus sekä ympäristökelpoisuus tulee osoittaa, jotta niitä voidaan hyödyntää maarakentamisessa. Tuhkien ympäristökelpoisuutta arvioidaan haitta-aineiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia tutkimalla. Lentotuhkien ympäristökelpoisuutta voidaan parantaa käsittelyillä (varastointi, stabilointi ja tiivistäminen), joilla pienennetään haitta-aineiden liukoisuuksia. (Kiviniemi ym., 2012.)

Lujittumisominaisuuksilla tarkoitetaan materiaalin kykyä lujittua, kun sitä kostutetaan ja tiivistetään. Lentotuhkien lujittumisominaisuudet ovat merkittäviä materiaalin teknisten ominaisuuksien kannalta, kun taas pohjatuhkien lujittumisominaisuudet ovat vähäisiä. Varastointitapa vaikuttaa tuhkien lujittumisominaisuuksien säilymiseen. (Kiviniemi ym., 2012.)

Maarakentamisessa tuhkia voidaan käyttää sellaisenaan, tiivistettynä, toisen sivutuotteen kanssa seostettuna tai sideaineena. Lentotuhkia hyödynnettäessä niiden lujittumisominaisuudet pyritään hyödyntämään. Lentotuhkaa voidaan käyttää päällysrakenteissa massiivirakenteena (pelkästään lentotuhkaa tai lujittavalla sideaineella stabiloitua lentotuhkaa sisältävät rakenteet) tai stabilointien sideaineena. Massiivisten lentotuhkarakenteiden etuina tavanomaisiin rakenteisiin verrattuna ovat niiden lämmöneristävyys, kantavuus, keveys sekä luonnonvarojen säästyminen. Pohjatuhka vastaa rakeisuudeltaan hiekkaa, ja sitä voidaan käyttää hiekan korvikkeena suodatinkerroksessa sekä täytöissä ja pengerrakenteissa. (Kiviniemi ym., 2012.) Maarakentamisessa voidaan käyttää myös prosessoitua jätteenpolton pohjakuonaa, joka vastaa rakeisuudeltaan soraa (Kaartinen ym., 2010).

### **Metallurgisen teollisuuden sivutuotteet**

Metallurgisen teollisuuden sivutuotteina syntyy erilaisia kuonia, joita voidaan hyödyntää maarakentamisessa. Tällaisia kuonia ovat esimerkiksi masuunikuona, ferrokromikuona sekä teräskuona. Eri kuonalaaduilla on omat erityispiirteensä, jotka johtuvat varsinaisen valmistettavan tuotteen valmistusprosessista. Kuonien maarakennuskäytön etuja ovat niiden hyvä kantavuus, sitoutumiskyky ja eristyskyky. Ilmajäähdytteistä masuunikuonaa on käytetty teiden rakennusmateriaalina jo 1970-luvulta lähtien. Vesijäähdytyksen tuloksena syntyvä masuunihiekka on toinen masuunikuonan käyttömuoto. Masuunihiekkaa voidaan käyttää massiivisina rakenteina sekä sideaineena. Ruostumattoman teräksen tuotannossa syntyvää ferrokromikuonaa käytetään eristystarkoituksiin. Outokumpu Oy valmistaa ferrokromikuonasta kaupallisia OKTO-tuotteita. (Tiehallinto, 2007; Matinlauri, 2016.)

### **Rakennus- ja purkutoiminta**

Rakennus- ja purkutoiminnoissa syntyvästä betonijätteestä voidaan valmistaa betonimursketta, joka on jo pitkään käytössä ollut maarakennusmateriaali (Dettenborn, 2013, Linden, 2017). Jätebetoni murskataan halutun kokoiseksi murskeeksi ja siitä poistetaan raudat sekä muut epäpuhtaudet. Betonimurskeet soveltuvat teknisesti käytettäväksi kaikissa tien päällysy- ja alusrakenteiden sitomattomissa kerroksissa (Matinlauri, 2016).

Myös rakennus- ja purkutyömailla syntyvä tiilijäte on mahdollinen maarakennusmateriaali. Tiilijätteen käytöstä ei ole Suomessa kovin paljon kokemuksia. Tiilimurske on hauras materiaali ja se saattaa rapautua jäätyessään kosteana. Tiilimursketta suositellaan käytettäväksi kokeilukohteissa. (Tiehallinto, 2007.)

Tie- ja maarakenteiden purkutoiminnasta syntyy uusiokäyttökelpoisia materiaaleja, kuten asfalttirouhetta ja -mursketta. Asfalttijätteen ympäristökelpoisuus on yleensä hyvä. Asfalttirouhetta syntyy jyrittäessä tiepäälystettä ja asfalttimursketta puolestaan murskattaessa tiepäälysteiden purkamisessa syntyviä asfalttikappaleita. Asfalttijätettä voidaan käyttää uuden asfaltin raaka-aineena. Asfalttimurske ja -rouhe soveltuvat myös kantavan kerroksen raaka-aineeksi tai stabilointiin. (Tiehallinto, 2007; Matinlauri, 2016.) MARA-asetuksen mukaan hyödynnettävän asfalttimurskeen ja -rouheen enimmäismäärä maarakentamiskohteessa on 1 000 tonnia (VNa 843/2017).

Rakennustoiminnassa syntyy myös ylijäämämaata eli ylimääräistä tai heikkolaatuista kaivumaata, jota ei hyödynnetä rakennuskohteessa vaan se sijoitetaan maankaatopaikalle tai muille läjitysalueille. Ylijäämämaat saattavat myös olla pilaantuneita (Koivisto ym., 2016). Rakennustoiminnassa syntyneitä ylijäämämaita voidaan hyödyntää maarakentamisessa esimerkiksi tiepohjissa, pengerryksissä ja meluvalleissa. Suunniteltaessa pilaantuneiden maa-ainesten hyödyntämistä on tehtävä riskinarvio, jossa arvioidaan maa-aineksista aiheutuvat ympäristöriskit ja niiden vaikutukset. Pilaantuneiden maa-ainesten hyödyntämisedellytyksiä voidaan parantaa stabiloinnilla. (Ympäristöministeriö, 2015.)

### **Muut uusiomateriaalit**

Jätteeksi päätyneistä autonrenkaista voidaan valmistaa rengasrouhetta ja -paaleja, joita voidaan hyödyntää maarakentamisessa. Maarakentamisessa voidaan käyttää myös kokonaisia renkaita. Rengastuotteita käytetään erityisesti kevennysrakenteissa, mutta myös eristys- ja kuivatusrakenteissa sekä meluvalleissa. (Tiehallinto, 2007; Matinlauri, 2016.)

Puhdistetusta kierrätyslasista voidaan valmistaa vaahtolasimursketta, joka on rakennusmateriaaliksi soveltuva huokoinen kevytkiviaines. Vaahtolasimursketta voidaan käyttää routaeristeenä ja kevennysrakenteissa. Vaahtolasimurske valmistetaan teollisessa prosessissa, jossa käytetään raaka-aineena puhdistettuja lasinsiruja. Valmistusprosessista raaka-ainelasiasta jauhettu lasijauhe kuumennetaan noin 900 asteeseen ja vaahdotetaan vaahdotusaineen avulla. Vaahtolasimurskeen käyttö on Suomessa vielä melko uutta. Vaahtolasimursketta valmistaa Suomessa ainoastaan Uusioaines Oy tuotenimellä Foamit®, joka aloitti valmistuksen vuonna 2011. (Köylijärvi, 2014.)

Myös kierrätettyjen muovipolymeerien käyttöä tierakenteissa on tutkittu (Kalantar ym. 2012). Kierrätetyn muovin käyttöä tierakentamisessa kehitetään erityisesti Hollannissa, jossa kierrätysmuovin hyödyntämistä testataan parhaillaan pyörätiekohteessa Zollen kaupungissa (PlasticRoad, 2018).

## **2.4.2 Uusiomateriaalien käyttöä ohjaava lainsäädäntö**

Uusiomateriaalien hyödyntämistä säädellään sekä kansallisella että EU-lainsäädännöllä. Lainsäädännön velvoitteiden täyttyminen on lähtökohtana kaikessa uusiomateriaalien hyödyntämisessä. Uusiomateriaalien käytön kannalta merkittävimpiä lakeja ja säädöksiä on lueteltu alla, eroteltuina EU-lainsäädäntö ja Suomen kansallinen lainsäädäntö:

## EU-lainsäädäntö

- EU:n jätedirektiivi (EY 98/2008)
- EU:n rakennustuoteasetus (EU 305/2011)
- CLP-asetus (EY 1272/2008) eli asetus kemikaalien luokituksesta, merkinnöistä ja pakkaamisesta
- REACH-asetus (EY 1907/2006) eli asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista

## Suomen kansallinen lainsäädäntö

- Jätelaki (646/2011) ja -asetus (179/2012)
- Ympäristönsuojelulaki (527/2014) ja -asetus (713/2014)
- Jäteverolaki (1126/2010)
- MARA-asetus (843/2017) eli valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa
- MASA-asetus eli valtioneuvoston asetus maa-ainestenjätteiden hyödyntämisestä (parhaillaan valmisteilla)

Lisäksi uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa ohjaavat myös maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) sekä -asetus ja maa-aineksen ottoa koskevat lait ja asetukset kuten maa-aineslaki (555/1981) ja valtioneuvoston asetus maa-ainesten ottamisesta (926/2005).

Suomen lainsäädännössä ei ole käsitettä uusiomateriaali, joten uusiomateriaalit ovat lainsäädännön mukaan joko ympäristölainsäädännön alaisia jätteitä tai tuotelainsäädännön alaisia tuotteita (Koivisto ym., 2016). Jätelain (646/2011) mukaan jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut, aikoo poistaa käytöstä tai on velvollinen poistamaan käytöstä. EU:n jätedirektiivi ja Suomen jätelaki sisältävät uusiomateriaalien kannalta olennaisen sivutuotemääritelmän ja ns. End-of-Waste -kriteerit. Jätteeksi luokittelun päättyminen edellyttää, seuraavat arviointiperusteet täytyvät (Jätelaki 646/2011):

- 1) materiaali on läpikäynyt hyödyntämistoimen;
- 2) materiaalilla on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään yleisesti;
- 3) materiaalilla on markkinat tai kysyntää;
- 4) materiaali täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen
- 5) materiaalin käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Edellä mainittujen kriteerien täytyminen ei kuitenkaan yksin riitä, vaan lisäksi End-of-Waste -tilasta on oltava joko kansallinen tapauskohtainen päätös, valtioneuvoston asetus tai säädös EU-tasolla. Rauta-, teräs- ja alumiiniromulle, kupariromulle sekä lasimurskalle on annettu End-of-Waste -arviointikriteerit EU-asetuksella. EU-asetuksia sovelletaan sellaiseenaan, joten asetuksissa määritellyistä tiettyjen materiaalien arviointikriteereistä ei säädetä erikseen kansallisessa lainsäädännössä (Koivisto ym., 2016). End-of-Waste -tilasta voidaan tehdä myös tapauskohtainen päätös. Tällöin ympäristölupaviranomainen soveltaa jätelain arviointikriteerejä yksittäiseen, tietyn toiminnanharjoittajan tiettyssä toiminnassa syntyvään jätteeseen, jota hyödynnetään tiettyssä käyttötarkoituksessa (Kauppila ym., 2018). End-of-

Waste -menettelyyn ryhtyminen on vapaaehtoista ja tapauskohtainen jäteluonteen harkinta lähtee tavallisesti jätteen haltijan aloitteesta (Koivisto ym., 2016).

Sivutuotteiksi puolestaan voidaan luokitella tuotantoprosessissa päätuotteen ohella syntyvät jäännöstuotteet, mikäli ne täyttävät kaikki jätelain 5.2 § määritellyt sivutuotteen arviointiperusteet. Kun materiaalin jäteluokitus päättyy tai se luokitellaan sivutuotteeksi, se siirtyy tuotteita koskevan lainsäädännön piiriin. Jätestatuksesta vapautuneisiin materiaaleihin sovelletaan esimerkiksi kemikaalilainsäädäntöä ja REACH-asetusta.

Mikäli uusiomateriaali on luokiteltu jätteeksi, sen hyödyntäminen maarakentamisessa vaatii lähtökohtaisesti ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaisen ympäristöluvan. Lupaa ei kuitenkaan vaadita, mikäli uusiomateriaali kuuluu ns. MARA-asetuksen piiriin ja täyttää asetuksessa määritellyt ehdot. Uusi MARA-asetus (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa 843/2017) tuli voimaan 1.1.2018. Uudistetulla asetuksella pyritään edistämään jätteiden hyödyntämistä maarakentamisessa. Asetuksessa määritellään edellytykset, joiden täytyessä asetukseen kuuluvien jätteiden käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaista ympäristölupaa. Uudistuksessa MARA-asetuksen soveltamisalaa on laajennettu uusiin maarakentamiskohteisiin ja jättemateriaaleihin. Uusina uusiomateriaaleina asetuksen piiriin lisättiin kevytbetoni- ja kevytsorajätteet, leiju- petihiekka, tiilimurske, asfalttimurske ja -rouhe, käsitelty jätteenpolton kuona, valimohiekat, kalkit, kokonaiset renkaat ja rengasrouhe. Jo aikaisemmin asetukseen ovat sisältyneet betonimurske, kivihiili, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhka sekä pohjatuhka. Asetuksen soveltamisalan maarakentamiskohteita ovat väylät, kentät ja vallit sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteet.

EU:n rakennustuoteasetuksessa (EU 305/2011) säädetään, mitä rakennustuotteiden ominaisuuksista tulee kertoa ja millä edellytyksillä rakennustuotteet voidaan CE-merkitä. CE-merkinnän tarkoituksena on ilmoittaa tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisella eurooppalaisella tavalla ja osoittaa, että tuotteen voi asettaa markkinoille kaikissa Euroopan talousalueen maissa. CE-merkintä on pakollinen kaikille rakennustuotteille (ml. uusiomateriaalit), jotka saatetaan markkinoille, ja joilla on olemassa harmonisoitu tuotestandardi. Uusiomateriaalien kannalta olennaisimpia harmonisoituja tuotestandardeja ovat kiviainesstandardit. CE-merkintä rakennustuotteessa ei kuitenkaan vielä takaa, että tuote soveltuu käytettäväksi tietyssä rakennuskohteessa tietyssä maassa. (Liikennevirasto, 2014b; Koivisto ym., 2016.)

Rakennustuotteen ympäristöseloste EPD (Environmental Product Declaration) on vapaaehtoinen tuoteselosteen kaltainen seloste, joka antaa tietoa tuotteen ympäristövaikutuksista. Ympäristöseloste perustuu standardien EN ISO 14044 ja EN 15804 + A1 mukaisesti tehtyyn elinkaariarviointiin ja se sisältää tuotteen tiedot, elinkaariarvioinnin laskentaperusteet sekä elinkaariarvioinnin tulokset. Tuotteen ympäristövaikutuksia kuvataan standardin EN 15804 mukaisilla indikaattoreilla (ks. luku 3.3). Ympäristöseloste mahdollistaa samaan käyttötarkoitukseen tulevien tuotteiden vertailun rakennusmateriaaleja valittaessa. Suomessa rakennustuotteiden ympäristöselosteet hyväksyy Rakennustietosäätiö RTS. (Rakennustietosäätiö, 2018.)

## 3 Ympäristökestävyyssarviointi tie- ja katurakentamisessa

### 3.1 Ympäristövaikutusten arviointimenettelyt ja -menetelmät

Maarakentamisen ympäristökestävyyttä voidaan arvioida useilla erilaisilla menetelmillä, esimerkiksi elinkaariarvioinnilla, jossa otetaan huomioon tarkastelun tavoitteista, laajuudesta, ja taustatietojen saatavuudesta riippuen yksi tai useampia indikaattoreita. YVA-lainsäädäntöä lukuun ottamatta Suomessa ei ole toistaiseksi olemassa yhtenäistä ohjeistusta maarakentamisen ympäristökestävyyssarvioinnin toteuttamisesta tai siihen sisällytettävistä indikaattoreista.

Tiet ja muut liikenneväylät ovat yhteiskunnan toiminnan kannalta välttämättömiä rakenteita. Liikenteen aiheuttamien ympäristövaikutusten lisäksi myös hankkeiden rakennusvaiheesta aiheutuu merkittäviä ympäristövaikutuksia. Tiehankkeiden rakennusvaiheen aiheuttamat ympäristövaikutukset voivat vaihdella merkittävästi toteutustavasta riippuen. Haitallisten ympäristövaikutusten minimoiminen onnistuu varmimmin, kun ympäristönäkökohdat otetaan huomioon jo hankkeen suunnittelun alkuvaiheesta lähtien. (Eskola ym., 2008.) Tiehankkeiden rakentamisesta aiheutuu sekä alueellisia että globaaleja vaikutuksia. Rakentamisen aiheuttamia paikallisia ympäristövaikutuksia ovat esimerkiksi vaikutus maisemaan, virkistysmahdollisuuksiin ja kulttuuriympäristöihin, elinympäristöjen pirstaloitumiseen sekä muutokset pohjaveden tasossa tai laadussa. Laajempia ympäristövaikutuksia ovat esimerkiksi luonnonvarojen kulutus sekä rakentamisesta syntyvät päästöt, jotka kiihdyttävät ilmastomuutosta, happamoitumista tai rehevöitymistä. (Kilpinen, 2008; Korkiala-Tanttu ym., 2006.) Kaikki ympäristövaikutukset eivät liity suoraan toimintaan itse rakennustyömaalla, vaan myös esimerkiksi rakennusmateriaalien tuotannosta aiheutuu ympäristövaikutuksia (Balaguera ym., 2018).

#### 3.1.1 YVA-menettely

Laki velvoittaa, että suurista väylähankkeista on tehtävä ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA). YVA on tehtävä aina moottori- ja moottoriliikenneteiden rakentamishankkeissa sekä silloin, kun kyseessä on yhtäjaksoisen yli 10 kilometriä pitkän neli- tai useampikaistaisen tien rakentaminen, uudelleenlinjaus tai levenämishanke (Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017). Pienempiin hankkeisiin sovelletaan kevyempää ympäristövaikutusten selvitystä (YVS) (Tiehallinto, 2009). YVA on prosessi, jonka tarkoituksena on varmistaa, että ympäristövaikutukset otetaan huomioon ja selvitetään riittävällä tarkkuudella suunniteltaessa hankkeita, joilla on merkittäviä ympäristövaikutuksia. YVA-lain (252/2017) 2 § mukaan arvioitavia ympäristövaikutuksia ovat vaikutukset:

- väestöön, ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen;
- maahan, maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen sekä eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen;
- yhdyskuntarakenteeseen, aineelliseen omaisuuteen, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön;
- luonnonvarojen hyödyntämiseen;
- edellä mainittujen tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin.

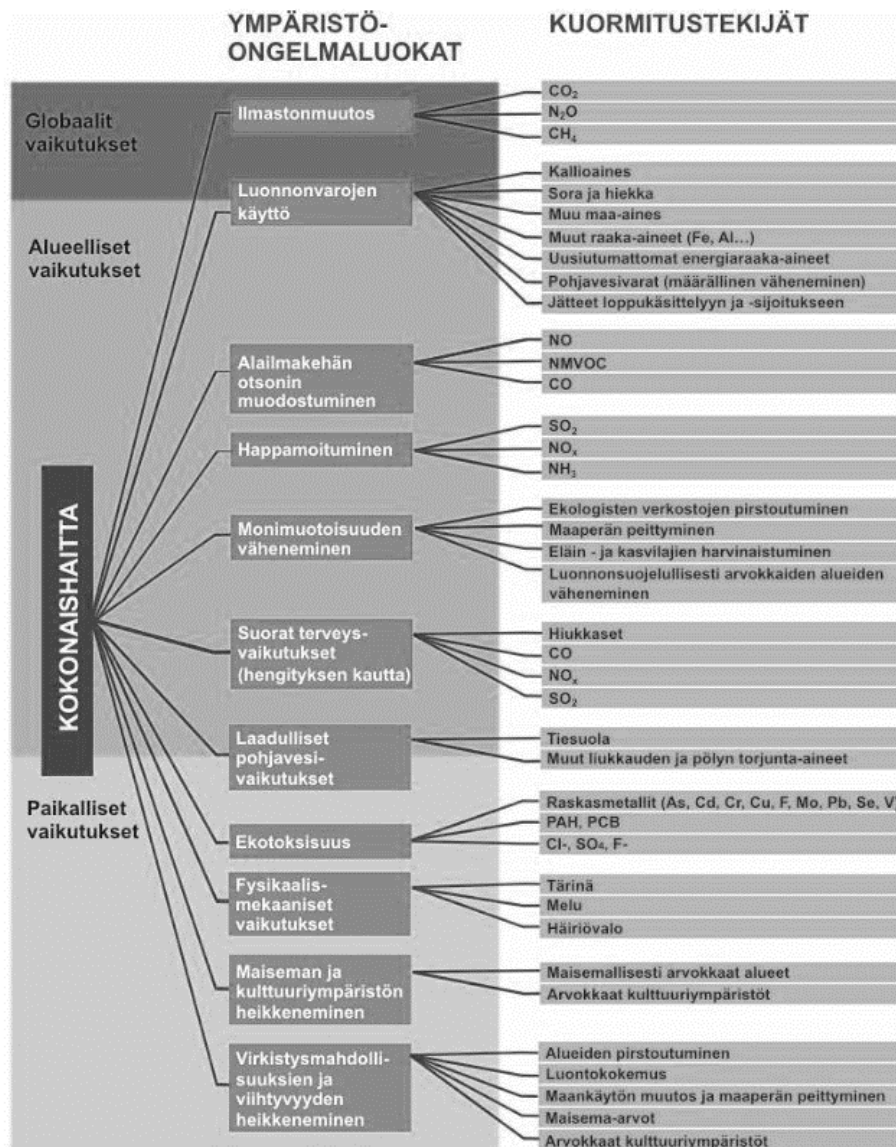


Tiehankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnista on laadittu ohje (Tiehallinto, 2009), jonka tarkoituksena on antaa kokonaiskuva ympäristövaikutusten arvioinnista tiehankkeissa. YVA tehdään yleensä hankesuunnittelun alkuvaiheessa, tiehankkeissa yleissuunnitteluvaiheessa. (Tiehallinto, 2009.) YVA-menettely itsessään ei ole menetelmä vaan prosessi, jossa voidaan hyödyntää muita ympäristövaikutusten arviointimenetelmiä, esimerkiksi elinkaariarviointimenetelmää (Korkiala-Tanttu ym., 2006). Vain osa YVA:ssa arvioitavista tekijöistä voidaan mitata kvantitatiivisesti, ja riskinä on, että numeerisesti mitattavissa olevat asiat saavat korostuneen roolin verrattuna laadullisesti kuvailtaviin vaikutuksiin. Ympäristövaikutusten arvioinnissa kestävä kehityksen näkökulman huomioiminen sekä tarkastelun laajentaminen välittömistä ja paikallisista vaikutuksista edellyttää arvioinnin kohteena olevan hankekohteen koko elinkaaren aikaisten vaikutusten huomioimista. (Kilpinen, 2008.)

### **3.1.2 EIMI-järjestelmä**

Korkiala-Tanttu ym. kehittivät vuonna 2006 EIMI-arviointijärjestelmän väylärakentamisen ympäristövaikutusten arvioimiseen. EIMI (Environmental IMpacts of Infrastructure) on elinkaariarviopohjainen hankekohtainen arviointijärjestelmä, joka soveltuu vaihtoehtoisten ratkaisujen ja toteutustapojen vertailemiseen. EIMI-järjestelmässä väylärakentamisen ympäristövaikutuksia kuvataan hierarkiana, jossa ympäristökuormitustekijät on jaoteltu syy-seuraussuhteiden perusteella 11 ympäristövaikutusluokkaan ja niiden sisältämiin kuormitustekijöihin (kuva 3). Mukaan on valittu ympäristöongelmaluokat, joiden on katsottu olevan merkittäviä tiehankkeissa syntyvien suorien tai välillisten päästöjen tai muiden kuormittavien tekijöiden takia. Jotkut ympäristöongelmaluokat, esimerkiksi vesistöjen rehevöityminen, on jätetty pois, koska väylärakentamisesta aiheutuva kuormitus vesistöjen rehevöitymiseen on arvioitu vähäiseksi. (Korkiala-Tanttu ym., 2006)

Lopputuloksena indikaattorijärjestelmästä saadaan kuvaus väylähankkeen kokonaisympäristöhaitasta. Käytännössä kokonaishaittalaskelmaan mukaan otettavien ympäristövaikutusluokkien määrää rajoittavat saatavilla olevat pohjatiedot. EIMI-järjestelmään sisältyvien kuormitustekijöiden, kuten kasvihuonekaasupäästöjen, arvioimiseksi on olemassa laskentaohjelmia tai muita menetelmiä. Kaikille kuormitustekijöille ei kuitenkaan ole olemassa menetelmiä, joten näissä tapauksissa sovelletaan asiantuntijoiden subjektiivisia arvioita. (Korkiala-Tanttu ym., 2006; Kilpinen, 2008) EIMI-järjestelmää voidaan käyttää osana ympäristövaikutusten arviointia tuomaan YVA:an elinkaarinäkökulmaa sekä selkeyttämään tulosten esittämistapaa. EIMI-järjestelmän rinnalla tarvitaan kuitenkin myös selvitystä esimerkiksi ympäristöhaittojen alueellista kohdistumista. (Kilpinen, 2008.)



Kuva 3. Väylärakentamisen ympäristövaikutusten hierarkkinen luokittelu EIMI-arviointijärjestelmässä (Korkiala-Tanttu ym., 2006).

### 3.1.3 Elinkaariarviointi (LCA)

Elinkaariarviointi (engl. Life Cycle Assessment, LCA) on menetelmä, jonka avulla voidaan arvioida tuotteen, toiminnan tai palvelun koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Elinkaariarviointia voidaan käyttää myös maarakennushankkeiden, kuten tiehankkeen ympäristövaikutusten arvioimiseen. Elinkaariarvioinnin käyttö infrahankkeissa ei ole Suomessa pakollista, ja sitä on käytetty lähinnä erityisen ympäristötietoisten rakennusalan toimijoiden toimesta tai ympäristöluokituksia varten (Pasanen & Miilumäki, 2017a).

Elinkaariarvioinnin toteuttamisesta on laadittu kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n 14040-sarjan standardit. ISO 14040 -standardi antaa yleisohjeet siitä, mitä vaiheita elinkaariarviointiin tulee sisällyttää. Standardin mukaan elinkaariarvioinnissa on neljä vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi (engl. Life Cycle Inventory, LCI), vaikutusarviointi (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) sekä tulosten tulkinta (ISO

14040, 2006). Ensimmäisessä vaiheessa päätetään tutkimuksen tavoitteet, laajuus, ja rajaukset. Inventaarioanalyysissä koostetaan arvio tarkasteltavana olevan tuotejärjestelmän olennaisista syötteistä sekä tuotoksista. Vaikutusarvioinnissa tuotejärjestelmän päästöt ja muut kuormitustekijät luokitellaan vaikutusluokkiin ja muutetaan yhteismitallisiksi. Elinkaariarvioinnissa käytettävät ympäristövaikutusluokat vaihtelevat tarkasteltavan kohteen mukaan ja usein tarkasteluun valitaan vain arvioinnin tavoitteiden kannalta relevantimmat vaikutusluokat. Vaikutusluokkia ovat esimerkiksi ilmastomuutos, rehevöityminen, happamoituminen sekä luonnonvarojen ehtyminen. Elinkaariarvioinnin viimeisessä vaiheessa eli tulosten tulkinnassa tunnistetaan tuloksiin vaikuttavat merkittävät tekijät, arvioidaan tuloksia ja tehdään niiden pohjalta johtopäätökset. (mm. Antikainen, 2010.)

Kattavan, useita vaikutusluokkia sisältävän elinkaariarvioinnin tekeminen on työlästä ja vaatii paljon lähtötietoja. Elinkaariarvioinnista voidaan tehdä myös yksinkertaistettu versio. Yksinkertaistuksia voidaan tehdä esimerkiksi vähentämällä tutkittavien päästöjen tai ympäristövaikutusten määrää tai valitsemalla systeemin rajaukset siten, että tutkittavien prosessien määrä vähenee. Yksinkertaistettu elinkaariarviointi on nopeampi ja helpompi toteuttaa kuin kattava LCA, mutta yksinkertaistukset saattavat muuttaa arvioinnin tuloksia ja johtaa virheellisiin johtopäätöksiin. (Antikainen, 2010.)

Elinkaariarviointia on sovellettu teiden rakentamiseen jo 20 vuoden ajan (Balaguera ym., 2018). Elinkaariarvioinnin avulla voidaan vertailla erilaisten menetelmä- ja materiaalivalintojen ympäristövaikutuksia ja elinkaariarviointia voidaan käyttää päätöksenteon tukena. Elinkaariarvioinnin avulla voidaan esimerkiksi vertailla tierakentamisessa käytettävien perinteisten materiaalien sekä uusiomateriaalien aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Balagueran ym. (2018) tekemän kirjallisuuskatsauksen mukaan tämänkaltaisissa elinkaariarviotutkimuksissa yleisimmin arvioidut uusiomateriaalit olivat kierrätetty asfaltti, lentotuhka sekä polymeeri. Yleisimmin arvioidut ympäristövaikutusluokat ovat energiankulutus ja ilmastomuutos. Tierakentamisen elinkaariarvioinneissa yleisimmin käytetty toiminnallinen yksikkö on yksi kilometri rakennettua tietä ja yleisimmin huomiodut elinkaaren vaiheet ovat materiaalien tuotanto, tien rakentaminen kunnossapito sekä käytöstä poistaminen (End-of Life). Tyypillisesti LCA-tutkimukset ovat keskittyneet uusiomateriaalien hyödyntämiseen ainoastaan tien päällyskerroksissa, harvemmin on otettu huomioon uusiomateriaalien hyödyntäminen myös muissa tien rakenneosissa (Celauro ym., 2015). Teiden rakentamisen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia selvittämissä tutkimuksissa on yleistä, että analysoitavina ympäristövaikutusindikaattoreina ovat ainoastaan energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt (Balaguera ym., 2018; Moretti ym., 2018; taulukko 2). Tämänkaltaisista tutkimuksista voidaan puhua myös hiilijalanjälki- (ks. luku 3.2.1) tai päästölaskentana.

*Taulukko 2. Kooste LCA-tutkimuksista, joissa on vertailtu tierakentamisessa käytettäviä uusiomateriaaleja ja perinteisiä materiaaleja (Balaguera ym., 2018, muokattu)*

Materiaali	Tekijä, vuosi, maa	Kasvihuone-kaasut	Tutkitut parametrit	Huomioitavat vaiheet
<b>Asfaltti- ja betonipäällysteet</b>	Kucukvar ja Tatari (2012), USA	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus ja prosessointi, kuljetukset, sekoitusaseman toiminta, päällysteen asennus.
	Yu ja Lu (2012), USA	Kyllä	Energiankulutus, SO <sub>x</sub> , VOC, hiukkaset (PM <sub>10</sub> )	Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, kunnossapito ja korjaus, ja käytöstä poisto.
	Wang ym. (2012), USA	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen, kunnossapito ja korjaus, käyttö.
	Vidal ym. (2013), Espanja	Kyllä	Fossiilisten polttoaineiden ehtyminen, energiankulutus	Materiaalien valmistus, kuljetukset, rakentaminen, käyttö, kunnossapito, käytöstä poisto.
	Yu ym. (2013), USA	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, kuljetukset, rakentaminen, käyttö, kunnossapito, käytöstä poisto.
	Araújo ym. (2014), Portugali	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, kunnossapito, käytöstä poisto.
<b>Jätteenpolton pohjakuona</b>	Olsson ym. (2006), Ruotsi	Kyllä	Resurssit, päästöt ilmaan ja veteen	Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, purkaminen, käytöstä poisto.
	Birgisdóttir ym. (2006), Tanska	Kyllä		Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, purkaminen, käytöstä poisto.
	Birgisdóttir ym. (2007), Tanska	Kyllä		Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, purkaminen, käytöstä poisto.
<b>Lasijäte</b>	Huang ym. (2009), Iso-Britannia	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen.
<b>Teräskuona</b>	Ferreira ym. (2016), Espanja	Ei	Energian ja uusiutumattomien luonnonvarojen kulutus, happamoituminen, rehevöityminen, päästöt ilmaan, toksisuus	Materiaalien valmistus, rakentaminen.
<b>Kumi</b>	Chiu ym. (2008), Taiwan	Ei	Energiankulutus	Materiaalin valmistus, kuljetukset, rakentaminen, kunnossapito, käyttö.
<b>Polymeeri</b>	Araújo ym. (2014), Portugali	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, kunnossapito, käytöstä poisto.
	Butt (2014), Ruotsi	Kyllä	Energiankulutus	Rakentaminen, kunnossapito, käytöstä poisto.
<b>Kierrätysasfaltti</b>	TheEiux ym. (2007), Chile	Ei	Energiankulutus	Materiaalin valmistus, kuljetukset, purkaminen, rakentaminen.

	Chiu ym. (2008), Taiwan	Ei	Energiankulutus	Materiaalin valmistus, kuljetukset, rakentaminen, kunnossapito, käyttö.
	Huang ym. (2009), Iso-Britannia	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen.
	Vidal ym. (2013), Espanja	Kyllä	Fossiilisten polttoaineiden ehtyminen, energiankulutus	Materiaalien valmistus, kuljetukset, rakentaminen, käyttö, kunnossapito, käytöstä poisto.
	Aurangzeb ym. (2014), USA	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen, kunnossapito, käytöstä poisto.
	Araújo ym. (2014), Portugali	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, kunnossapito, käytöstä poisto.
	Celauro ym. (2015), Italia	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen, käyttö, kunnossapito ja korjaus, ja käytöstä poisto.
	Del Ponte (2016), USA	Kyllä	Energian ja veden kulutus, jätteen muodostuminen.	Materiaalin valmistus, kuljetukset, rakentaminen.
	Bloom ym. (2017), USA	Kyllä	Energiankulutus, veden kulutus, PM10, SO <sub>2</sub> , Hg, Pb, vaarallinen jäte, toksisuus ihmisille (HTP)	Materiaalin valmistus, kuljetukset, rakentaminen.
<b>Lentotuhka</b>	Huang ym. (2009), Iso-Britannia	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus, rakentaminen.
	Chowdhury ym. (2010), USA	Kyllä	Happamoituminen ja toksisuus (vedessä ja maaperässä)	Materiaalien valmistus ja prosessointi, kuljetukset, rakentaminen.
	Kucukvar ja Tatari (2012), USA	Kyllä	Energiankulutus	Materiaalien valmistus ja prosessointi, kuljetukset, sekoitusaseman toiminta, päällysteen asennus.
	Bloom ym. (2017), USA	Kyllä	Energiankulutus (TJ), veden kulutus, PM10, SO <sub>2</sub> , Hg, Pb, vaarallinen jäte, toksisuus ihmisille (HTP)	Materiaalin valmistus, kuljetukset, rakentaminen.
<b>Kierrätysbetonipäällyste (RCP) tai kierrätysasfalttipäällyste (RAS)</b>	Chowdhury ym. (2010), USA	Kyllä	Happamoituminen ja toksisuus (vedessä ja maaperässä)	Materiaalien valmistus ja prosessointi, kuljetukset, rakentaminen.
	Yang ym. (2015), USA	Kyllä	Otsonikato, alailmakehän otsoni, happamoituminen ja rehevöityminen	Materiaalin valmistus, rakentaminen, käyttö, kunnossapito, käytöstä poisto.
	Bloom ym. (2017), USA	Kyllä	Energiankulutus (TJ), veden kulutus, PM10, SO <sub>2</sub> , Hg, Pb, vaarallinen jäte, toksisuus ihmisille (HTP)	Materiaalin valmistus, kuljetukset, rakentaminen.
<b>Teollisuusjäte</b>	Schwab ym. (2014), Sveitsi	Ei	Luonnonvarojen kulutus ja ekotoksisuus	Materiaalin valmistus, rakentaminen.

Suomessa elinkaariarviointia on sovellettu vain muutamissa tie- ja katuhankkeissa, kuten Kivikon eritasoliittymän katuhankkeessa (Aulakoski, ym. 2014; Ramboll, 2017; Pasanen & Miilumäki, 2017a). Elinkaariarviointien käyttö infrarakentamisessa on kuitenkin yleistymässä, kun esimerkiksi monet kaupungit ovat asettaneet päästötavoitteita ja pyrkivät näiden tavoitteiden saavuttamiseksi vähentämään myös rakentamisen päästöjä. Suomessa infrarakentamisen elinkaariarvioinneissa käytettäviä päästölaskentaohjelmia ovat ainakin Bionovan kehittämä One Click LCA, Rapalin Fore-kustannuslaskentaohjelmiston sisältämä Rola-työkalu sekä VTT:n kehittämä MELI-työkalu. Infrarakentamisen elinkaariarvioinneissa on Suomessa huomioitu lähinnä rakennusvaiheen päästöt ja tarkastelussa on tavallisesti keskitytty hiilidioksidipäästöihin. Esimerkiksi Ruotsissa ja Norjassa rakentamisen päästöjen elinkaariarviointi on yleisempää kuin Suomessa. Ruotsissa Trafikverket vaatii elinkaari-päästöjen arviointia kaikilta yli 50 miljoonan kruunun infrahankkeilta ja Norjassa Statsbygg eli Norjan valtion rakennuksia rakennuttava ja hallinnoiva toimija vaatii elinkaa-ren hiilijalanjälkilaskentaa kaikilta rakennushankkeilta (Pasanen & Miilumäki, 2017a).

## **3.2 Ympäristövaikutusindikaattorit**

Indikaattoreita käytetään yksinkertaistamaan monimutkaisia ilmiöitä koskevaa tietoa helpommin ymmärrettävään muotoon. Indikaattoreiden avulla voidaan tarkastella ilmiöitä, joita ei voida suoraan havainnoida. Indikaattoreiden avulla voidaan myös seurata ilmiöiden muuttumista ajan kuluessa, osoittaa trendejä ilmiöiden kehityksen suunnassa ja arvioida ilmiöitä suhteessa asetettuihin tavoitteisiin. Hyvä indikaattori on objektiivinen ja sen tulokset ovat toistettavissa. Liiallinen yksinkertaistaminen ja tärkeän tiedon kadottaminen ovat indikaattoreiden käyttöön liittyviä riskejä. (mm. Korkiala-Tanttu ym., 2006.)

Kestävän kehityksen seurannassa käytetään monenlaisia indikaattoreita. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen määrää käytetään usein kuvaamaan tarkasteltavana olevan kohteen vaikutusta ilmastomuutokseen. Indikaattoreita käytetään tukemaan päätöksentekoa siitä, millaisia toimia tulisi tehdä tai välttää, kun pyrkimyksenä on tehdä kestävän kehityksen mukaisia ratkaisuja (Ness ym., 2007). Ympäristökestävyys (ekologinen kestävyys) on yksi kestävän kehityksen osa-alueista taloudellisen ja sosiaalisen kestävyuden ohella. Ympäristövaikutusten suuruutta voidaan kuvata indikaattoreiden avulla, esimerkiksi happamoitumisen indikaattorina voidaan pitää happamoitumista aiheuttavien päästöjen (ts. kuormitustekijöiden), kuten rikkidioksidin ( $\text{SO}_2$ ), typen oksidien ( $\text{NO}_x$ ) tai ammoniakkin ( $\text{NH}_3$ ), määrää. Kaikkien ympäristövaikutusten kuormitustekijät eivät ole yhtä helposti mitattavissa tai laskettavissa. Esimerkiksi rakentamisesta aiheutuvien fysikaalis-mekaanisten vaikutusten kuten värinän ja häiriövalon määrää on vaikeampi arvioida. Näissä tapauksissa indikaattorina voidaan pitää esimerkiksi värinälle tai valosaasteelle altistuvien ihmisten määrää. (Korkiala-Tanttu ym., 2006.) Seuraavissa kappaleissa on esitelty tierakentamisen ympäristövaikutuksia ja niiden arvioimiseen käytettäviä indikaattoreita.

### **3.2.1 Kasvihuonekaasupäästöt**

Infrarakennushankkeilla on merkittävä rooli ilmastomuutoksen hillinnässä. Infrahankkeista aiheutuu merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä, esimerkiksi rakennusmateriaalien valmis-

tusprosesseista (esim. asfaltti ja betoni) sekä suurista kuljetusmääristä (esim. kivi- ja maa-massat) (Pasanen & Miilumäki, 2017a). Hiilidioksidipäästöt sekä muut kasvihuonekaasupäästöt toimivat indikaattorina kuvaamaan vaikutusta ilmaston lämpenemiseen.

Hiilijalanjälki (engl. Carbon Footprint) on indikaattori, jonka avulla voidaan ilmaista tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt. Hiilijalanjälkilaskelmissa voidaan huomioida CO<sub>2</sub>-päästöjen lisäksi myös muita kasvihuonekaasupäästöjä, jotka muutetaan usein CO<sub>2</sub>-ekvivalenteiksi. Hiilidioksidin lisäksi yleisimmät laskelmissa huomioitavat kasvihuonekaasut ovat metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O) (Aulakoski ym., 2014). Hiilijalanjälki on ikään yksinkertaistettu versio elinkaariarvioinnista, jossa huomioidaan ainoastaan ilmastomuutos-vaikutusluokka (Balaguera ym., 2018). Tiehankkeiden hiilijalanjäljen laskemiseen on kehitetty useita erilaisia työkaluja (Melanta ym., 2013; Ramboll, 2017). Eri työkaluissa on eroja esimerkiksi siinä, miten tarkastelu rajataan, mitkä elinkaaren vaiheet otetaan huomioon ja mitkä kasvihuonekaasut huomioidaan.

Tienrakennushankkeissa kasvihuonekaasupäästöt ovat pääosin peräisin energian kulutuksesta, joka sisältää työkoneiden ja ajoneuvojen polttoaineiden kulutuksen sekä rakennusmateriaalien valmistusprosessien kuluttaman energian (Eskola ym., 1999). Kasvihuonekaasupäästöjen laskemisessa käytetään tavallisesti päästökertoimia. Päästökertoimia on saatavilla useista eri lähteistä, esimerkiksi VTT:n kehittämässä LIPASTO-yksikköpäästötietokannassa on päästökertoimet eri liikennevälineille sekä työkoneille Suomessa. Yksikköpäästöillä tarkoitetaan liikennevälineiden käytön aikaisia päästömääriä kuljetettua massa- tai henkilöyksikköä ja pituusyksikköä kohden (esim. g/tonnikilometri). (VTT, 2017b.) Rakennusmateriaalien CO<sub>2</sub>-päästötietoja on saatavilla eri lähteistä, kuten tuotteiden ympäristöselosteista sekä päästötietokannoista. Päästötietojen laatu vaihtelee, ja materiaalien päästöissä on eroja myös saman materiaalityypin sisällä. Päästötiedot saattavat kuvata esimerkiksi eri valmistusmaissa tai eri tekniikoilla valmistettuja tuotteita. Päästölaskennan kannalta on oleellista, että päästötiedot ovat luotettavia, yhdenmukaisia ja Suomen oloihin soveltuvia. (Bionova Oy, 2017.)

Tiehankkeiden elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia selvittävässä tutkimuksessa on yleistä, että analysoitavina ympäristövaikutusindikaattoreina ovat ainoastaan energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt (Balaguera ym., 2018; Moretti ym., 2018). Mikäli rakennushankkeen ympäristövaikutuksia arvioitaessa lasketaan ainoastaan eri ratkaisuvaihtoehtojen energiankulutus tai hiilijalanjälki, saadaan hyvin yksipuolinen kuva vaihtoehtojen ympäristövaikutuksista. Kasvihuonekaasupäästöiltään pienin toteutusvaihtoehto ei välttämättä ole muiden ympäristövaikutusten kannalta paras ratkaisu (Moretti ym., 2018.)

### 3.2.2 Muut päästöt ilmaan

Kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi rakentamisesta aiheutuu muitakin päästöjä ilmaan ja sitä kautta vesistöihin ja maaperään. Nämä päästöt saattavat aiheuttaa esimerkiksi alailmakehän otsonin muodostumista, happamoitumista, rehevöitymistä tai suoria terveysvaikutuksia.

Infrarakentamisen ilmapäästöjä voidaan laskea erilaisilla laskentaohjelmilla. Esimerkiksi alailmakehän otsonin muodostumista, happamoituvista ja rehevöitymistä aiheuttavien kuorimitustekijöiden indikaattoriarvot voidaan laskea näillä päästölaskentaohjelmilla (Kilpinen,

2008). Vaikutuksia arvioitaessa kuhunkin ympäristövaikutusluokkaan vaikuttavat kuormitustekijät tavallisesti yhteismitallistetaan luokan sisällä karakterisointikertoimen avulla. Karakterisointikertoimet ovat ekvivalenttikertoimia, jotka määräytyvät sen mukaan, miten suuri merkitys kullakin päästöllä nykytiedon valossa on ko. ympäristövaikutusluokkaan (Korkiala-Tanttu ym., 2006.)

Alailmakehässä otsoni muodostuu valokemiallisissa reaktioissa typenoksidoista ( $\text{NO}_x$ ) ja hiilivedyistä. Otsoni on voimakas hapetin ja sen korkeat pitoisuudet alailmakehässä ovat haitallisia. Alailmakehän otsonia muodostavia päästöjä syntyy rakentamisessa materiaalien tuotannosta, kuljetuksesta ja työkoneiden käytöstä. Alailmakehän otsonin muodostumisen indikaattoreina käytetään esimerkiksi  $\text{NO}_x$ , NMVOC ja CO -päästöjä. (Korkiala-Tanttu ym., 2006.)

Happamoittavia päästöjä ovat mm. rikin ja typen oksidit sekä ammoniakkipäästöt, joita syntyy rakentamisessa materiaalien tuotannosta, kuljetuksesta ja työkoneiden käytöstä (Korkiala-Tanttu ym., 2006.) Happamoitumisen indikaattoreina elinkaariarvioinneissa on pääsääntöisesti käytetty rikin oksideja (ilmaistu rikkidioksidina  $\text{SO}_2$ ), typen oksideja (ilmaistu typpidioksidina  $\text{NO}_2$ ) ja pelkistyneitä tyypiyhdisteitä (ilmaistu ammoniakkinä  $\text{NH}_3$ ). Lisäksi useissa LCA-valmisohjelmissa on huomioitu myös fluorivety ( $\text{HF}$ ) ja suolahappo ( $\text{HCl}$ ). (Seppälä, 2009)

Rehevöityminen johtuu liiallisesta ravinteiden, lähinnä typen ja fosforin, kulkeutumisesta ekosysteemiin. Korkiala-Tantun ynnä muiden (2006) mukaan tiehankkeen rakentamisvaiheessa suoria rehevöittäviä päästöjä syntyy vain vähän. Kuitenkin, jos tarkastelussa otetaan huomioon myös tien käyttövaiheen aikainen liikenteen kuormitus, liikenteen aiheuttama rehevöittävä typpikuormitus muodostuu merkittäväksi (Korkiala-Tanttu ym., 2006).

Suorilla terveysvaikutuksilla tarkoitetaan hankkeen päästöistä välittömästi aiheutuvia haitallisia terveysvaikutuksia. Tavallisimmin kysymys on erilaisista hengityselinoireista, sillä altistuminen tapahtuu hengitysteitse (Korkiala-Tanttu ym., 2006). Tiehankkeissa rakentamisessa, materiaalien esikäsittelyssä, kuljetuksessa ja välivarastoinnissa syntyy pölyä, joka voi sisältää haitta-aineita ja toimia niiden kuljettajana (Tiehallinto, 2007). Pölyämisen aiheuttamien suorien terveysvaikutusten indikaattoreina voidaan käyttää esimerkiksi pienhiukkas-päästöjen ( $\text{PM}_{2,5}$  ja  $\text{PM}_{10}$ ) määrää, jota voidaan verrata terveysperusteisiin ilmanlaadun raja-arvoihin (Korkiala-Tanttu ym., 2006). Rakentamisen ja materiaalien varastoinnin yhteydessä pölyä saattaa levitä ympäristöön, jossa se voi vaikuttaa myös maaperään, pintavesiin ja kasvillisuuteen (Pajukallio ym., 2011).

Yksi elinkaariarviointeihin tyypillisesti sisällytetty kategoria on vaikutus otsonikatoon (engl. ozone depletion potential). Otsonikerrosta heikentävistä aineista merkittävimpiä ovat CFC-yhdisteet eli freonit sekä halonit. Yläilmakehän otsonia tuhoavien aineiden päästöjen indikaattorina käytetään tyypillisesti CFC-11 -ekvivalentteja (CEN, 2016). Nykyisin otsonikerrosta heikentävien aineiden valmistus ja käyttö on pääosin kielletty.

### 3.2.3 Päästöt maaperään, pohjaveteen ja vesistöihin

Maarakentamisessa käytettävistä materiaaleista voi aiheutua haitallisten aineiden liukene-mista veteen. Valumavesien mukana nämä liuenneet aineet voivat kulkeutua ympäristöön ja



pohjaveteen. Erityisesti maarakentamisessa käytettäviin uusiomateriaaleihin liittyy riski, että niistä liukenee käytön aikana aineita, jotka voivat aiheuttaa maaperän, pohjaveden ja vesistöjen pilaantumista. Uusiomateriaalit sisältävät alkuperästä riippuen vaihtelevan määrän haitallisia aineita, kuten mm. raskasmetalleja, puolimetalleja, polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH-yhdisteet) ja suoloja. (mm. Schwab ym., 2014.)

Uusiomateriaalien käyttöä ohjaava lainsäädäntö (ks. luku 2.4.3) edellyttää materiaalien ympäristökelpoisuuden arviointia, johon kuuluu myös liukoisuusominaisuuksien selvittäminen. MARA-asetuksessa asetetaan raja-arvoja haitallisten aineiden liukoisuudelle ja pitoisuudelle (VNa 843/2017). Haitallisten aineiden kokonaispitoisuus materiaalissa ei suoraan kerro materiaalista liukenevien aineiden määrää. Materiaalin liukoisuusominaisuuksien kannalta merkittäviä tekijöitä ovat aineksen kemiallinen koostumus, mineraalikoostumus, tekstuuri sekä raekoko. Liukoisuustesteillä voidaan tutkia materiaalin liukoisuuskäyttäytymistä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Liukoisuustutkimuksissa tulee käyttää ensisijaisesti standardoituja menetelmiä, joita on kehittänyt eurooppalainen standardointijärjestö CEN. Lyhytaikaisen liukoisuuden selvittämiseksi on olemassa kaksi perusmenetelmää, ns. läpivirtaustesti rakeisille jätteille sekä ns. pintaliukenemistesti kappalemaisille jätteille. Myös aineiden kemiallista kokonaispitoisuutta käytetään liukoisuusominaisuuksien ohella ympäristökelpoisuuden arviointikriteerinä etenkin tapauksissa, joissa liukoisuusominaisuuksien tutkiminen ei ole mahdollista tai kun haitallisten aineiden kokonaispitoisuudet ovat alhaiset. (Wahlström ym. 2010, Pajukallio ym., 2011.)

Elinkaariarvioinneissa haitallisten aineiden vaikutuksia kuvaavia vaikutusluokkia ovat ekotoksisuus ja humaanitoksisuus. Ekotoksisuus tarkoittaa ihmistoiminnasta peräisin olevien yhdisteiden haitallisia vaikutuksia eliöissä, eliöyhteisöissä ja ekosysteemeissä. Humaanitoksisuus puolestaan tarkoittaa ihmisiin kohdistuvaa toksisuutta. Arvioitaessa toksisuusvaikutuksia elinkaariarvioinnissa jokaiselle aineelle lasketaan tavallisesti karakterisointikerroin kuvaamaan sen suhteellista toksisuutta. Kertomalla aineen ekotoksisuutta kuvaavalla karakterisointikertoimella kyseisen aineen päästö, saadaan päästön ekotoksisuutta kuvaava indikaattoritulos. (Wahlström ym., 2014; Mattila, 2009.) Karakterisointikerrointen laskentaan on olemassa useita menetelmiä, mutta nykyisin suositeltavin menetelmä on vuonna 2008 kehitetty USEtox (Wahlström ym., 2014). Toksisuutta ilmaisevat kategoriat jätetään kuitenkin usein huomioimatta elinkaariarvioinneissa epävarmuuksien ja metodologisten puutteiden takia (Mattila, 2009; Schwab ym. 2014; Wahlström ym. 2014; Allegrini, ym., 2015). Esimerkiksi tiedon puute aineiden yhteisvaikutuksista on suuri epävarmuustekijä. Toistaiseksi ei ole olemassa suositeltua tapaa kokeellisen liukoisuusdatan huomioimiseen elinkaariarvioinnissa (Schwab ym., 2014; Allegrini ym., 2015). Yksi merkittävä haaste liukoisuusdatan integroimiseen elinkaaritarkasteluissa on se, että materiaalien liukoisuusominaisuudet riippuvat myös paikallisista hydrologisista olosuhteista. Liukoisuusominaisuudet kenttäolosuhteissa ovat harvoin tiedossa ja aineiden kulkeutumisen arviointi perustuu tavallisesti oletuksiin paikka- ja ainekohtaisten kertoimien sijaan (Schwab ym., 2014; Wahlström ym., 2014). Muita keskeisiä ongelmia ovat esimerkiksi epävarmuustekijät liittyen humaanin ja ekotoksisten vaikutuksia koskeviin parametreihin, sekä se, että hajoamistuotteisiin liittyvää toksisuutta ei oteta huomioon (Wahlström ym., 2014).

Toksisuusasioita arvioidaan myös riskinarvioinnissa. Riskinarviointi (engl. risk assessment) on menetelmä, jossa arvioidaan haittoja ja riskejä, kuten haitta-aineiden toksisuudesta aiheutuvia terveysriskejä ihmisille sekä luonnon ekosysteemeille. Riskinarviointi on paikka- ja aikakohtainen ja elinkaariarvioinnista poiketen siinä pyritään usein arvioimaan pahimpia

mahdollisia tilanteita, joissa riski voisi toteutua. Riskinarviointia ja elinkaariarviointia voidaan käyttää toisiaan täydentävinä tutkimuskeinoina. (Wahlström ym., 2014; Mattila, 2009.)

### 3.2.4 Luonnonvarojen käyttö ja materiaalitehokkuus

Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan toimia, joilla vähennetään luonnonvarojen kulutusta tinkimättä kuitenkaan tuotteen tai palvelun laadusta. Materiaalitehokas toiminta ehkäisee materiaalihävikkiä ja syntyvän jätteen määrää. Materiaalitehokkuus on osa resurssitehokkuutta, joka kattaa myös energiatehokkuuden. (Peuranen & Hakaste, 2014.) Tierakentamisessa ja muussa maarakentamisessa käytetään suuria määriä kiviaineksia ja muita luonnonvaroja. Samalla syntyy myös paljon ylijäämämaita. Uusiomateriaalien hyödyntämisellä maarakentamisessa voidaan edistää materiaalitehokkuutta. Uusiomateriaalien hyödyntämisen yhtenä merkittävimpänä etuna on luonnonvarojen käytön väheneminen, kun neitseellisiä luonnonmateriaaleja korvataan uusiomateriaaleilla. (Inkeröinen & Alasaarela, 2010.)

Uusiutumattomien ei-eloperäisten mineraalivarojen ehtyminen sekä uusiutumattomien fossiilisten energiavarojen ehtyminen ovat luonnonvarojen käytön indikaattoreita, jotka listataan esimerkiksi CEN:n kestävästä rakentamisesta standardeissa. Uusiutumattomien ei-eloperäisten luonnonvarojen (ns. ADP-alkuaineet, ADP tulee englannin sanoista *Abiotic Deposition Potential*) kulutusta kuvataan antimoniekvivalentilla (Sb-ekvivalentti). Uusiutumattomien fossiilisten polttoaineiden (ns. ADP-fossiiliset polttoaineet) kulutusta puolestaan kuvataan megajouleina. (SFS-EN 15978, SFS-EN15804 + A1.) Muita luonnonvarojen käyttöä kuvaavia indikaattoreita CEN/TC 350 -standardeissa (EN 15804, 15978) ovat:

- prosessienergiana ja raaka-aineena käytetty uusiutuva sekä uusiutumaton primäärienergia (MJ)
- käytetyt kierrätysmateriaalit (kg)
- käytetyt uusiutuvat ja uusiutumattomat kierrätyspolttoaineet (MJ)
- veden kokonaiskäyttö (m<sup>3</sup>)

Yksinkertaisimmillaan maarakennushankkeen luonnonvarojen käyttöä kuvaavina indikaattoreina voidaan käyttää esimerkiksi hankkeessa käytettyjen raaka-aineiden määriä raaka-aineiden kokonaiskulutuksena tai materiaalikohtaisesti eroteltuina. Esimerkiksi EIMI-järjestelmässä (Korkiala-Tanttu ym., 2006) luonnonvarojen käyttöä kuvataan käytettyjen materiaalien tonnimäärillä (kallioaines, sora ja hiekka, muu maa-aines, muut raaka-aineet). Muita EIMI-järjestelmässä käytettyjä luonnonvarojen käyttöä kuvaavia indikaattoreita ovat pohjaveden määrällinen väheneminen, käytetty uusiutumaton energia sekä syntyvän jätteen määrä.

### 3.2.5 Melu, värinä ja valo

Rakentamistoiminnasta voi aiheutua värinää, melua sekä häiriövaloa eli valosaastetta. Näistä kuormitustekijöistä ainoastaan melun arviointiin ja mittaamiseen on olemassa vakiintuneet käytännöt (Kilpinen, 2008). Valtioneuvoston melulle asettama ohjearvo asumiseen tarkoitettulle alueelle on päiväsaikaan (klo 7-22) 55 dB, jonka ylittävä alue määritellään melualueeksi (Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992). Esimerkiksi EIMI-järjes-

telmässä (Korkiala-Tanttu ym., 2006) melun indikaattorina käytetään tämän yli 55 dB ohjearvon ylittävälle melulle altistuvien ihmisten määrää. Melulle altistuvien ihmisten määrää voidaan arvioida melumittausten tai melulaskentamallien avulla.

Rakentaminen voi aiheuttaa väliaikaista tärinää. Tien käyttövaiheen aikainen liikenteestä johtuva tärinä riippuu mm. maaperän laadusta, liikenteen määrästä ja nopeudesta sekä tien kunnosta (Kilpinen, 2008). Tärinän määrää voidaan arvioida laskennalla tai tärinämittauksilla (Korkiala-Tanttu ym., 2006). Rakennuskohteissa määritetään tärinän raja-arvot tapauskohtaisesti (Talja & Törnqvist, 2014). Liikennetärinälle ei ole Suomessa vahvistettuja ohjearvoja. VTT on tehnyt ehdotuksen asumisviihtyvyyden kannalta suositeltavista maksimitärinäarvoista, jotka ovat 0,6 mm/s vanhoilla asuinalueilla ja 0,3 mm/s uusilla (Kilpinen, 2008). EIMI-järjestelmässä tärinän indikaattorina käytetään tärinälle altistuvien ihmisten määrää (Korkiala-Tanttu ym., 2006).

Häiriövalolla tai valosaasteella tarkoitetaan ihmisen aikaansaamaa keinovaloa, joka voi olla haitallista ihmisille tai ekosysteemeille. Valosaastetta voidaan ehkäistä vähentämällä valaistusta ja suuntaamalla valaistus paremmin haluttuun kohteeseen. Valosaasteen vaikutuksia on tutkittu vähän eikä myöskään valosaasteen mittaamiseen tai arvioimiseen ole vakiintuneita käytäntöjä. Häiriövalon indikaattorina voidaan käyttää esimerkiksi tietylle valon voimakkuudelle altistuvien alueiden pinta-alaa. Tällöin tarvitaan tietoja valon leviämisestä erilaisissa tieympäristöissä ja sääolosuhteissa. (Kilpinen, 2008.)

### **3.2.6 Luonnon monimuotoisuuden väheneminen**

Luonnon monimuotoisuudella eli biodiversiteetillä tarkoitetaan lajien sisäistä perinnöllistä muuntelua, lajien runsautta sekä elinympäristöjen moninaisuutta. Teiden ja muiden liikenneväylien rakentaminen aiheuttaa elinympäristöjen vähenemistä ja pirstaloitumista sekä lisää eläinkuolleisuutta. Varsinaisen väylän alle jäävän alueen lisäksi väylän aiheuttamat häiriö- ja reunavaikutus ulottuvat laajemmalle alueelle heikentäen eliöiden elinympäristöjä. Sekä väylän rakentamisvaihe, että käyttövaihe aiheuttavat ympäristöön monenlaista häiriötä kuten päästöjä, melua sekä olosuhteiden muutoksia kuten kasvillisuuden poistoa, jotka voivat heikentää eliöiden elinmahdollisuuksia. Tiet ja muut liikenneväylät vaikeuttavat eläinlajien liikkumista (ns. estevaikutus) ja tieliikenteessä kuolee vuosittain miljoonia eläimiä. Arvioiden mukaan liikenteen aiheuttamasta kuolleisuudesta ei ole haittaa yleisten lajien selviytymiselle, mutta harvinaisten lajien kohdalla kuolleisuuden aiheuttama haitallinen vaikutus voi olla merkittävä. (Kilpinen, 2008.)

Ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA) tulee arvioida hankkeen välittömät ja välilliset vaikutukset kasvillisuuteen, eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen. YVA:ssa ympäristövaikutusten arviointi on asiantuntija-arviointia, joka voi olla laadullista tai määrällistä (Tiehallinto, 2009). Luonnon monimuotoisuuteen kohdistuvien vaikutusten mittaamiseen ei ole olemassa yksiselitteisiä indikaattoreita. EIMI-järjestelmässä vaikutuksia monimuotoisuuteen arvioitiin seuraavien kuormitustekijöiden avulla: ekologisten verkostojen pirstoutuminen, maaperän peittyminen, eläin- ja kasvilajien harvinaistuminen sekä luonnonsuojelullisesti arvokkaiden alueiden väheneminen. Pohjatietoina tämän kaltaisten tekijöiden arvioimiseen voidaan käyttää luontoinventointitietoja, kaavoitus- ja maankäyttösuunnitelmia sekä asiantuntijalausuntoja. Indikaattoreina voidaan käyttää esimerkiksi viheralueelle sijoittuvan

väylän pinta-alaa, pinta-alatietoja alueella sijaitsevista arvokkaista luontokohteista tai alueella esiintyvien huomionarvoisten lajien lukumäärää. (Kilpinen, 2008.)

### **3.2.7 Vaikutukset maisemaan, kulttuuriympäristöihin ja virkistysmahdollisuuksiin**

Teiden ja muiden liikenneväylien rakentaminen aiheuttaa maankäytöllisiä muutoksia, jotka voivat muuttaa maisemaa ja kulttuuriympäristöä sekä heikentää virkistysmahdollisuuksia ja viihtyvyyttä. Maisemallisia suojelukohteita ovat esimerkiksi kansallismaisemat, perinnumaisemat sekä muut arvokkaat maisema-alueet. Kulttuuriympäristöllä tarkoitetaan yleensä laajempaa ihmistoiminnan ja luonnon yhteisvaikutuksesta syntynyttä kokonaisuutta, jonka muodostavat rakennettu kulttuuriympäristö, kulttuurimaisema sekä muinaisjäännökset. Kulttuuriympäristöt voidaan luokitella niiden arvokkuuden mukaan. Indikaattorina maisemaan ja kulttuuriympäristöön liittyvistä vaikutuksista voidaan pitää esimerkiksi väylän lähistöllä sijaitsevien maisemallisesti tai kulttuuriympäristön kannalta arvokkaiden kohteiden pinta-alaa. Pinta-alan lisäksi tulee kuitenkin arvioida, kuinka merkittäviä väylähankkeesta aiheutuvat haitalliset vaikutukset ovat näille alueille. (Kilpinen, 2008; Korkiala-Tanttu, 2006.)

Virkistysmahdollisuuksilla tarkoitetaan ihmisten mahdollisuuksia nauttia ympäristöstä esimerkiksi ulkoilun, marjastuksen, sienestyksen tai metsästyksen muodossa, ja viihtyvyydellä puolestaan tarkoitetaan ympäristön terveellisyyttä ja esteettisyyttä. Esimerkiksi väylärakentamisen aiheuttama alueiden pirstaloituminen voi heikentää virkistysmahdollisuuksia ja viihtyvyyttä. Virkistysmahdollisuuksiin ja viihtyvyyteen kohdistuvien vaikutusten mittaamiseen ei ole olemassa vakiintuneita indikaattoreita. EIMI-järjestelmässä virkistysmahdollisuuksiin ja viihtyvyyteen kohdistuvien vaikutusten indikaattorina käytetään sellaisten virkistyskäyttöön soveltuvien alueiden pinta-alaa, jotka väylähankkeen seurauksena pirstaloituvat tai jäävät väylän alle. (Korkiala-Tanttu, 2006.)

YVA:ssa tulee selvittää hankkeen vaikutukset maisemaan, viihtyvyyteen, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön (YVA-laki 252/2017). Edellä mainitut vaikutukset ovat lähinnä seurausta tien sijainnista ja linjauksesta, sen sijaan materiaali- ja menetelmävalintojen merkitys näihin vaikutuksiin on vähäinen.

## **3.3 Kestävän rakentamisen standardit**

Eurooppalaisen standardisointijärjestön CEN:n tekninen komitea TC 350 on laatinut rakennushankkeiden ja rakennustuotteiden ympäristövaikutusten hallintaan standardipaketin *Sustainability of construction works* (CEN/TC 350). Standardien tavoitteena on ollut yhteisesti sovittujen pelisääntöjen luominen rakennusten elinkaaripohjaiseen ympäristövaikutusarviointiin sekä rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaan. CEN/TC 350 -standardien käyttö ei kuitenkaan ole pakollista (Pasanen & Miilumäki, 2017a). Suomessa standardien toimialayhteistyöstä vastaa Rakennustuoteteollisuus RTT ry (RTT, 2018).

Rakennushankkeiden arviointiin on standardi *EN 15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method* ja rakennus-

tuotteiden arvioinnissa puolestaan käytetään standardia *EN 15804 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products* (CEN, 2018). CEN/TC 350 on parhaillaan kehittämässä uutta standardia infrastruktuurihankkeille. Puitestandardi *EN 15643-5 Assessment of building and Civil Engineering Works - Part 5: Framework for the assessment of sustainability performance* julkaistiin loppuvuodesta 2017, mutta laskentamenetelmästandardi *Sustainability of construction works - Sustainability assesment of civil engineering works - Calculation methods* on vielä valmisteilla. (Pasanen & Miilumäki, 2017a.)

CEN/TC 350 -standardeissa on lueteltu useita ympäristövaikutuksia kuvaavia indikaattoreita sekä luonnonvarojen käyttöä kuvaavia indikaattoreita (taulukot 3 ja 4), jotka tulee sisällyttää standardin mukaiseen ympäristövaikutusten arviointiin. Indikaattoreita, joille ei ole tieteellisesti sovittua laskentamenetelmää LCA:n puitteissa (kuten ekotoksisuus, biodiversiteetti ja maankäyttö), ei ole otettu mukaan nykyisiin standardeihin. (SFS-EN 15978, SFS-EN15804 + A1)

*Taulukko 3. Ympäristövaikutuksia kuvaavat indikaattorit CEN/TC 350 -standardeissa (SFS-EN 15978, SFS-EN15804 + A1).*

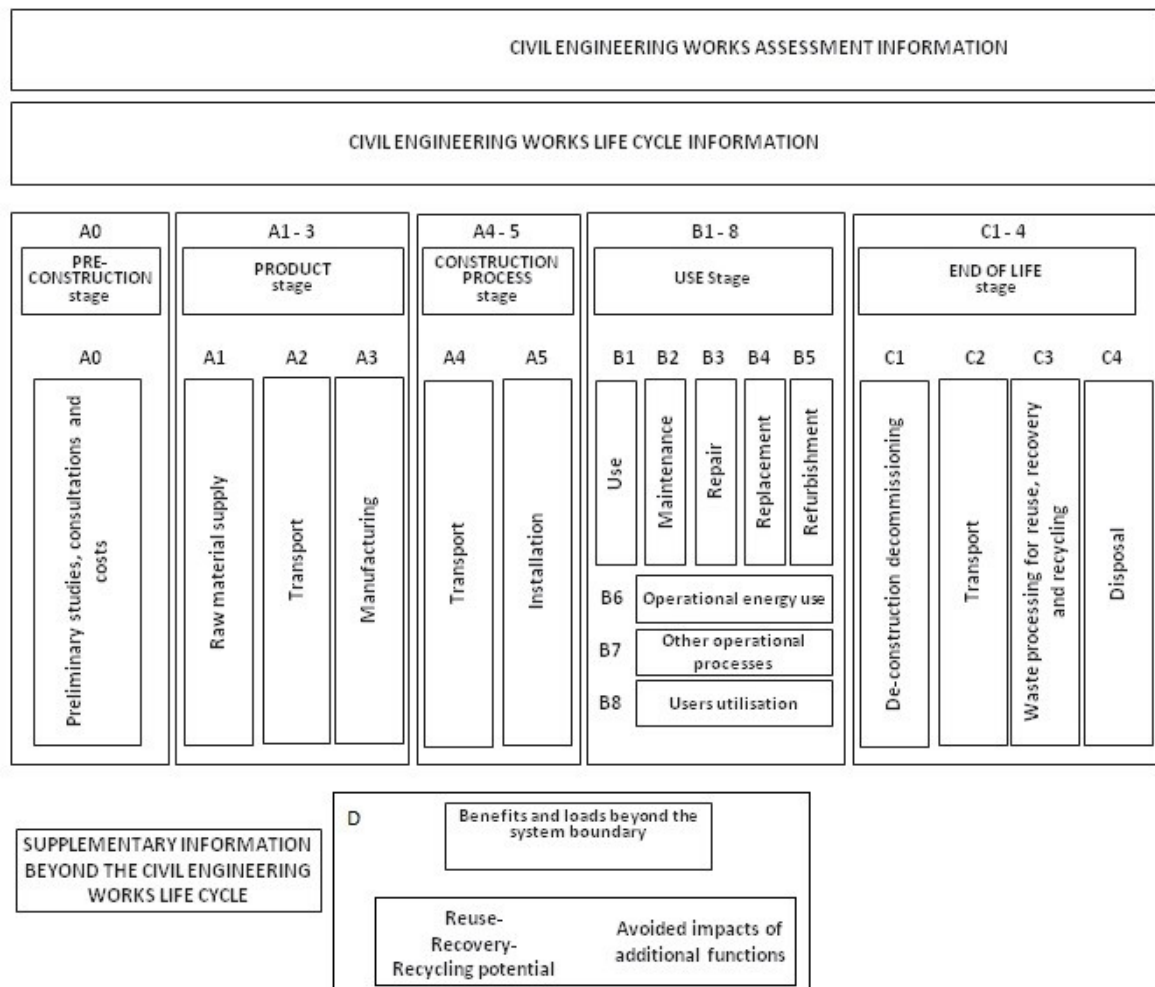
Vaikutusluokka	Indikaattori	Yksikkö (ilmoitettuna toiminnallista tai ilmoitettua yksikköä kohti)
Uusiutumattomien ei-eloperäisten mineraalivarojen ehtyminen	Uusiutumattomien mineraalivarojen ehtyminen (ADP-alkuaineet)	kg Sb ekvivalentti
Uusiutumattomien fossiilisten energiavarojen ehtyminen	Uusiutumattomien energiavarojen ehtyminen (ADP-fossiiliset polttoaineet)	MJ, alempi lämpöarvo
Happamoituminen	Maaperää ja vesistöjä happamoittavat päästöt (AP)	kg SO <sub>2</sub> ekvivalentti
Otsonikato	Yläilmakehän otsonia tuhoavien aineiden päästöt (ODP)	kg CFC 11 ekvivalentti
Ilmaston lämpeneminen	Kasvihuonekaasupäästöt (GWP)	kg CO <sub>2</sub> ekvivalentti
Rehevoituminen	Rehevoitumista aiheuttavat päästöt (EP)	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ekvivalentti
Valokemiallisen otsonin muodostuminen	Valokemiallista otsonia alailmakehässä muodostavien aineiden päästöt (POCP)	kg eteeni ekvivalentti

*Taulukko 4. Luonnonvarojen käyttöä kuvaavat indikaattorit CEN/TC 350 -standardeissa (SFS-EN 15978, SFS-EN15804 + A1).*

Indikaattori	Yksikkö (ilmoitettuna toiminnallista tai ilmoitettua yksikköä kohti)
Prosessienergiana käytetty uusiutuva primäärienergia	MJ, alempi lämpöarvo
Raaka-aineena käytetty uusiutuva primäärienergia (energiasisältö)	MJ, alempi lämpöarvo
Uusiutuvan primäärienergian kokonaiskäyttö (prosessienergiana ja raaka-aineena käytetty primäärienergia)	MJ, alempi lämpöarvo
Prosessienergiana käytetty uusiutumaton primäärienergia	MJ, alempi lämpöarvo
Raaka-aineena käytetty uusiutumaton primäärienergia (energiasisältö)	MJ, alempi lämpöarvo
Uusiutumattoman primäärienergian kokonaiskäyttö (prosessienergiana ja raaka-aineena käytetty primäärienergia)	MJ, alempi lämpöarvo
Käytetyt kierrätysmateriaalit	kg
Käytetyt uusiutuvat kierrätyspolttoaineet	MJ, alempi lämpöarvo
Käytetyt uusiutumattomat kierrätyspolttoaineet	MJ, alempi lämpöarvo
Veden kokonaiskäyttö	m <sup>3</sup>

Yllä lueteltujen indikaattoreiden lisäksi kestävän rakentamisen standardien mukaiseen ympäristövaikutusten arviointiin tulee sisällyttää indikaattoreita, jotka kuvaavat syntyviä jättemääriä jätetekategorioittain (vaarallinen jäte, kaatopaikkajäte, radioaktiivinen jäte). Standardit sisältävät indikaattoreita myös tuote-, materiaali- ja energiavirroista (komponentit uudelleenkäyttöön, jäte materiaalikierrätykseen, jäte energiasisällön hyödyntämiseen, viety energia). (SFS-EN 15978, SFS-EN15804 + A1.)

CEN/TC 350 -standardeissa on yhdenmukainen elinkaarimalli, joka koostuu tuote-, rakennus-, käyttö- ja purkuvaiheesta sekä elinkaaren ulkopuolisista vaikutuksista (esim. tuotteiden kierrätys) (Pasanen & Miilumäki, 2017b; SFS-EN 15978; SFS-EN15804 + A1). Esimerkiksi standardin EN15804 mukaisen rakennustuotteen ympäristöselosteen tulee sisältää elinkaaren vaiheet A1-A3, muiden vaiheiden sisällyttäminen on vapaaehtoista (SFS-EN 15804 + A1 2014.). Infrastruktuurihankkeiden uuden puitestandardin EN 15643-5 mukaan infrahankkeiden elinkaari alkaa jo hankkeen valmistelutöistä (A0, kuva 4). Mikäli kestävyysarvioinnissa ei oteta huomioon kaikkia elinkaaren vaiheita, tulee päätös perustella (SFS-EN 15643-5).



Kuva 4. Infrahankkeiden elinkaaren vaiheet puitestandardi EN 15643-5 mukaan (SFS-EN 15643-5).

CEN on julkaissut myös dokumentin *CWA 17089:2016 Indicators for the sustainability assessment of roads*, jossa esitetään suositus indikaattoreista, joita voidaan käyttää tulevien tai olemassa olevien tierakenteiden kestävyysarvioimiseen (CEN, 2016). Dokumentti on CEN-työryhmän hyväksymä, mutta ei kuitenkaan virallinen eurooppalainen standardi. Suositus sisältää indikaattoreiden määritelmät, yksiköt sekä mittaus- tai laskentamenetelmät, mutta ei kuitenkaan tarjoa kokonaista metodologiaa elinkaariarviointiin. Suosituksen indikaattorit kattavat kaikki kolme kestävyysosa-aluetta: ympäristökestävyys, taloudellisen kestävyys sekä sosiaalisen kestävyys ja niitä voidaan käyttää apuna esimerkiksi ympäristöä säästävissä julkisissa hankinnoissa (Green Public Procurement, GPP). Suosituksen mukaiset indikaattorit ympäristökestävyysarvioimiseksi on esitetty taulukossa 5. Taloudellisen kestävyysindikaattorina suosituksessa on elinkaaren aikaiset kokonaiskustannukset (*whole life cost*). Sosiaalisen kestävyysindikaattoreita puolestaan ovat viihtyvyysindeksi, turvallisuusauditoinnit ja -tarkastukset, sopeutuminen ilmastomuutokseen, renkaiden aiheuttama melu, vastuulliset hankinnat ja huoltotoimenpiteistä johtuvat liikenne-ruuhkat. (CEN, 2016)

*Taulukko 5. CEN-työryhmän suositukset tierakenteiden ympäristökestävyysindikaattoreiksi (CEN, 2016, käännetty suomeksi).*

<b>Kestävän kehityksen indikaattori</b>	<b>Yksikkö</b>
Primäärysten materiaalien kulutus	t
Sekundäärysten materiaalien käyttö	%
Materiaalit uusiokäyttöön tai kierrätykseen	%
Energian kulutus (uusiutuvien /uusiutumattomien energianlähteiden käyttö)	MJ
Jätteet (vaaralliset jätteet / tavanomaiset jätteet / radioaktiiviset jätteet)	t
Kasvihuonekaasupäästöt (GWP)	kg CO <sub>2</sub>
Alailmakehän otsonia muodostavien aineiden päästöt (POCP)	kg O <sub>3</sub>
Yläilmakehän otsonia tuhoavien aineiden päästöt (ODP)	kg O <sub>3</sub>
Maaperää ja vesistöjä happamoittavat päästöt (AP)	kg SO <sub>2</sub> ekv.
Rehevöitymistä aiheuttavat päästöt (EP)	kg PO <sub>4</sub> ekv.
Uusiutumattomien mineraalivarojen ehtyminen (ADP-alkuaineet)	kg antimoni ekv.
Uusiutumattomien energiavarojen ehtyminen (ADP-fossiiliset polttoaineet)	MJ
Toksisuus ihmisille	kg 1,4-dichlorobentseeni ekv.
Ekotoksisuus	kg 1,4-DCB ekv.

## 4 Uusiomateriaalien huomioon ottaminen ympäristövaikutustarkasteluissa

Systeemin rajaus on tärkeä vaihe elinkaariarvioinneissa ja muissa päästölaskennoissa, sillä systeemin rajauksella määritellään arviointiin sisällytettävät toiminnot ja prosessit ja pääte-tään, mitä jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Erilaisilla rajauksilla päädytään erilaisiin tulok-siin. (Antikainen, 2010.) Kun päästölaskennassa tarkastellaan rakennushanketta, jossa hyö-dynnetään uusiomateriaaleja, tulee päättää, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vai-heet otetaan päästölaskennassa huomioon. Tällä hetkellä uusiomateriaalien rajaamisesta inf-rahankkeiden päästölaskennassa ei Suomessa ole olemassa yhtenäistä ohjeistusta, minkä vuoksi käytännöt uusiomateriaalien rajauksesta vaihtelevat.

Tierakenteiden ja muiden maarakenteiden elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arvi-ointi on monella tapaa samankaltaista talonrakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnin ja kanssa. Yhteistä on esimerkiksi monet yhteiset materiaalit, suuri raaka-aineiden tarve, pitkä käyttöikä sekä tarve tarkastella rakenteita myös kokonaisuutena sen sijaan, että tyydyttäisiin pelkkien materiaalien vertailuun. (Eskola ym., 1999.) Suomessa Green Building Council on julkaissut vuonna 2013 ohjeen talonrakennuksen elinkaariarvioinnin ja -kustannuslaskennan soveltamiseen. Ohjeen taustalla ovat eurooppalaiset standardit EN 15978 ja EN 15804. Oh-jeistuksen tarkoituksena on yhtenäistää kiinteistö- ja rakennusalan käytäntöjä arvioida ra-kennusten ympäristötehokkuutta ja kestävä kehityksen mukaista toimintatapaa. (Pasanen & Miilumäki 2017a; Green Building Council Finland, 2018.)

Green Building Councilin ohjeistuksessa talonrakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen las-kentaan on ohjeet siitä, miten laskenta tulee rajata ja miten eri tekijät tulee ottaa laskennassa huomioon. Ohjeen mukaan yleisen cut-off -rajaussäännön perusteella vähämerkityksellisiksi arvioidut päästölähteet voidaan jättää tarkastelusta pois, mikäli tietoa ei ole saatavissa. Ra-jaussääntöä ei kuitenkaan saa soveltaa tietojen piilottamiseksi tai muutoinkaan silloin, kun tieto on saatavilla. Rakentamisessa käytettävien uusiomateriaalin huomioimisesta ohjeiste-taan Green Buildin Councilin ohjeessa seuraavasti:

*”Jos rakennuksessa käytetään materiaaleja, jotka tulevat esimerkiksi purkukohteesta tai hyö-dynnettävistä jätevirroista, näiden alkuperäisen valmistuksen päästöt ei enää tarvitse huomi-oida. Tällöin materiaalille huomioidaan käyttönoton päästöt End-of-Waste-tilan päättymi-sestä lukien, mutta kaksoislaskennan välttämiseksi ei alkuperäisen jättemateriaalin valmistuksen päästöjä. Katso tarkemmin taulukosta alta.”*

Taulukko 6. Uusiomateriaalien päästöjen huomiointi Green Buildin Councilin (2018) ohjeen mukaan.

Materiaalin lähtötila	Vaatimukset / määritelmä	Huomioitavat päästöt
Ylijäämämateriaali	Materiaali on hankittu ylijää-mänä alun perin muuhun kohteeseen	Kuljetus ja asennus
Jättemateriaali	Materiaali on jalostettu jät-teestä	Jalostaminen, kuljetus ja asen-nus
Uusiokäyttö purkukoh-teesta	Materiaali tulee purkukoh-teesta käyttövalmiina osina tai aineksina	Kuljetus, kunnostaminen ja asennus



Taulukon mukaan jättemateriaalien jalostamien kuuluisi päästöihin, jotka tulee huomioida päästölaskennassa (taulukko 6). Tämä on hieman ristiriitaista, sillä jättemateriaalin jalostaminen tapahtuu yleensä ennen kuin materiaali saavuttaa End-of-Waste tilan.

Green Buildin Councilin ohjeen mukaan jätteen käsittelystä syntyvät suorat päästöt huomioidaan vastaavasti kohteen laskennassa siihen saakka, kunnes jäte on prosessoitu End-of-Waste-tilaan. End-of-Waste -tilan määrittelyssä noudatetaan jätepuitedirektiivin (2008/98/EC) ja jätelain (646/2011) mukaisia määrittelyjä. Green Building Councilin hiilijalanjälkilaskennan ohjeistuksen pohjana on CEN:n laskentamenetelmästandardi EN 15978. Myös rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaa ohjeistavassa standardissa EN 15804 käytetään End-of-Waste -tilaa rajauksen määrittelemiseen:

*“Kierrätysmateriaaleja ja kierrätyspolttoaineita tuottavan järjestelmän ja niitä käyttävän järjestelmän välinen raja asetetaan siihen, missä edeltävän järjestelmän tuotokset, kuten esim. materiaalit, tuotteet, rakennusosat tai energia, saavuttavat End-of-Waste -tilan.”* (EN 15804 + A1, kappale 6.3.4.2)

EN-standardit ja Green Buildin Councilin ohje eivät ota kantaa siihen, miten uusiomateriaalit tulisi rajata elinkaaritarkastelussa silloin, kun End-of-Waste -statusta ei ole myönnetty (Karhu, 2018). Toistaiseksi Suomessa on myönnetty virallinen End-of-Waste -status vain hyvin harvoille maarakentamisessa käytettävälle uusiomateriaaleille<sup>2</sup>. Jätelaissa säädetyt End-of-Waste -kriteerit ovat tiukat ja niiden täyttäminen on useiden jätteiden osalta vaikeaa (Kauppila ym., 2018). Näin ollen ainakaan virallisen End-of-Waste -tilan perusteella ei käytännössä voida tehdä rajanvetoa siitä, mitkä uusiomateriaalien valmistuksen päästöt lasketaan kuuluvaksi mihinkin prosessiin, eli ohjeen soveltaminen jää laskijan tulkittavaksi.

---

<sup>2</sup> Vaahtolasimurske valmistetaan lasimurskeesta, jolla on EoW-status. Lisäksi joitain kuonia (esim. Rautaruukin granuloitu masuunikuona ja Outokummun Tornion tehtaan ferrokromikuona) on määritetty sivutuotteeksi ympäristöluvassa, oikeuden päätöksellä tai aluehallintoviraston päätöksellä (Koivisto ym., 2016).

## 5 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

### 5.1 Asiantuntijahaastattelut

Paremmän käsityksen saamiseksi siitä, millainen on infrarakentamisen päästölaskennan ja elinkaariarviointien nykytila Suomessa sekä mitä haasteita ja kehitystarpeita siihen liittyy, diplomityössä haastateltiin alan asiantuntijoita. Haastateltavien valinnassa pyrittiin huomiomaan, että haastateltavat edustaisivat erilaisia rooleja infrarakentamisen ympäristökestävyysarvioinnissa. Haastatteluun valitut asiantuntijat edustivat seuraavia toimijoita: tilaaja, suunnittelutoimisto, konsultti, viranomainen, tutkimuslaitos. Haastateltavat valittiin diplomityön ohjausryhmän antamien suositusten perusteella ja haastatteluja tehtiin kaiken kaikkiaan seitsemän kappaletta. Haastateltavien roolit ja organisaatiot on esitetty taulukossa 7. Haastattelut pidettiin 18.9.-12.11.2018 välisenä aikana. Haastattelujen tarkoituksena oli myös kuulla, mitkä indikaattorit ovat eri toimijoiden mielestä tärkeitä infrarakentamisen ympäristökestävyysarvioinnissa ja miten asiantuntijat ovat itse rajanneet uusiomateriaalit päästölaskennassa.

Haastatteluista osa toteutettiin kasvotusten ja osa puhelimitse. Haastattelun rakenne oli puolistrukturoitu, eli haastattelukysymykset oli laadittu etukäteen ja ne olivat samat kaikille haastateltaville (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka, 2006). Osa haastattelukysymyksistä saatettiin kuitenkin jättää pois haastattelun edetessä, jos haastateltava koki, ettei hänen asiantuntemuksensa riitä ko. kysymykseen vastaamiseen. Haastattelukysymykset (liite 1) lähetettiin kaikille haastateltaville etukäteen. Haastateltavilta saatettiin kysyä myös ennalta suunnittelelmattomia täydentäviä kysymyksiä. Kaikki haastattelut nauhoitettiin.

Haastatteluaineisto käsiteltiin poimimalla haastattelutallenteista olennaisimmat esille nousseet asiat ja dokumentoimalla ne kirjalliseen muotoon. Dokumentointivaiheen jälkeen haastatteluista koostettiin yhteenveto.

*Taulukko 7. Haastateltavien roolit*

<b>Rooli</b>	<b>Organisaatio</b>
Tilaaja	Helsingin kaupunki
Tilaaja	Liikennevirasto (nyk. Väylävirasto)
Konsultti	Destia
Konsultti	Bionova Oy
Suunnittelutoimisto	Ramboll Oy
Tutkimuslaitos	VTT
Viranomainen	Ympäristöministeriö

## **5.2 Päästölaskenta**

Asiantuntijahaastattelujen lisäksi diplomityössä tehtiin päästölaskentaesimerkki, jossa esimerkkikohteena toimi tierakenne. Laskentaesimerkin tarkoituksena oli vertailla tierakenteessa käytettävien uusiomateriaalien päästöjä perinteisten materiaalien päästöihin sekä tarkastella, miten erilaiset uusiomateriaalien rajauskäytännöt vaikuttavat päästölaskennan tuloksiin ja mitä muita epävarmuustekijöitä päästölaskentaan liittyy. Päästölaskentaesimerkissä keskityttiin yksinkertaisuuden vuoksi ainoastaan hiilidioksidipäästöihin.

### **5.2.1 MELI-laskentaohjelma**

Diplomityön päästölaskenta tehtiin MELI-päästölaskentaohjelmalla. MELI on VTT:n kehittämä Excel-pohjainen maarakentamisen päästölaskentatyökalu. Ohjelmalla on mahdollista arvioida erilaisten tie- ja maarakenteiden energiankulutusta ja päästöjä. MELI:n avulla on mahdollista laskea energian ja polttoaineen kulutus, kuljetusmatkat, CO<sub>2</sub>-päästöt, NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>-, VOC- ja CO-päästöt, hiukkaspäästöt sekä melupäästöt. MELI huomioi materiaalien valmistuksen, kuljetukset sekä materiaalien asennuksen työmaalla. Päästöt lasketaan ohjelmassa rakenneos- ja työvaihekohtaisesti (kuva 5). MELI sisältää myös tietokannan, jossa on eri materiaalien, työkoneiden ja ajoneuvojen päästötietoja.

**1100 Olevat rakenteet ja rakennusosat**

☐ 1140-1150 Poistettavat ja siirrettävät maarakenteet ?

**1300 Perustusrakenteet**

**1320 Paaluperustukset**

☐ 1321 Paalut ?

☐ 1312/1322 Paalu- ja laattaperustukset ?

**1400 Pohjarakenteet**

**1410 Vahvistetut maarakenteet**

☐ 1411 Syvätiivistetyt maarakenteet ?

☐ 1412 Liuskapystyöjitetut maarakenteet ?

☐ 1413 Stabiloidut maarakenteet ?

**1430 Kuivatusrakenteet**

☐ 1431 Salaojaputket ?

**1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot**

**1610-1620 Maaleikkaukset ja -kaivannot**

☐ 1611-1629 Kaivinkoneella suoritettavat maaleikkaukset ja kaivannot ?

**1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit**

**1710 Kallioavoleikkaukset**

☐ 1710 Kallioavoleikkaukset ?

**1800 Penkereet, maapadot ja täytöt**

☐ 1810 Penkereet ?

☐ 1830 Kaivantojen täytöt ?

**2000 Päällys- ja pintarakenteet**

**2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset**

☐ 2110 Suodatinrakenteet ?

☐ 2120 Jakavat kerrokset, eristyskerrokset ja välikerrokset ?

☐ 2130 Kantavat kerrokset ?

**2140 Päällysteet ja pintarakenteet**

☐ 2141 Sidotut päällysrakenteet ?

☐ 2144 Sitomattomat pintarakenteet ?

Kuva 5. MELI-ohjelmassa päästöt lasketaan rakenneosakohtaisesti.

## 5.2.2 Tarkasteluun valitut materiaalit

Päästölaskentaesimerkkiin valittiin neljä uusiomateriaalia, joita voi tietyssä tien rakenneosassa käyttää perinteisen materiaalin korvaajana kokonaan tai osittain: lentotuhka, betonimurske, vaahtolasimurske ja pohjatuhka (taulukko 8). Tarkasteluun pyrittiin valitsemaan sellaisia uusiomateriaaleja, jotka ovat yleisesti käytössä ja joiden syntyvät ovat eri tyyppejä. Valittuja uusiomateriaaleja kuvaillaan tarkemmin myöhemmin tässä luvussa. Esimerkkikohteeseen olisi ollut mahdollista valita muitakin uusiomateriaaleja, mutta tässä työssä keskitytään vain taulukossa 8 mainittuihin uusiomateriaaleihin.

Perinteisistä materiaaleista kalliomurske valittiin betonimurskeen vertailupariksi siksi, että se on tyypillinen tierakentamisessa käytössä oleva materiaali. Sekä kalliomurskeen että betonimurskeen valmistukseen kuuluu murskausvaihe. Kalliomurskeen sijaan esimerkkirakenteessa olisi mahdollista käyttää myös muunlaisia maa-aineksia. Kevennykseen valittiin perinteiseksi materiaaliksi kevytsora, sillä se on tyypillinen ja pitkään käytössä ollut kevennysmateriaali tierakentamisessa.

Taulukko 8. Tarkastellut materiaalit ja niiden käyttökohteet

Käyttökohte	Perinteinen materiaali	Uusio-materiaali
Pilaristabilointi	Sementti, kalkki	Lentotuhka
Penger	Kalliomurske	Betonimurske, pohjatuhka
Jakava kerros	Kalliomurske	Betonimurske
Kevennys	Kevytsora	Vahtolasimurske

### Lentotuhka

Lentotuhkaa voidaan käyttää pilaristabiloinnissa sideaineena korvaamaan osa sementistä<sup>3</sup> (Liikennevirasto, 2018). Sementin valmistus kuluttaa runsaasti energiaa ja aiheuttaa huomattavan määrän hiilidioksidipäästöjä. Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi. Kalkkikiveä kuumennettaessa siitä irtaantuu hiilidioksidia, reaktiota kutsutaan sementin poltaksi jolloin kalsiumkarbonaatin hiili vapautuu ilmaan hiilidioksidina ja kalkki aktivoituu ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ). Kalkkikiven poltosta muodostuu sementtiklinkkeritonnia kohden noin 500 kg  $\text{CO}_2$ -päästöjä. Sementtiklinkkeri valmistetaan kiertouunissa, jossa sementin raaka-aineet kuumennetaan  $1400^\circ\text{C}$ :een. Hiilidioksidipäästöjä syntyy lisäksi polttoaineiden kulutuksessa. (Betoniteollisuus ry, n.d.) Suomen sementtiteollisuus aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä vuodessa lähes miljoona tonnia (Energiavirasto 2018).

Päästölaskentaesimerkissä vertailtiin, miten sementin osittainen korvaaminen lentotuhkalla pilaristabiloinnin sideaineseoksessa vaikuttaa pilaristabiloinnin hiilidioksidipäästöihin skenaarioissa 1 ja 2. Pilaristabiloinnissa käytettävän sideaineen resepti vaihtelee tapauskohtaisesti. Laskentaesimerkissä tavallisen pilaristabiloinnin reseptinä käytettiin 70 % sementtiä ja 30 % kalkkia. Vaihtoehtoisessa pilaristabiloinnissa lentotuhkaa hyödynnettiin korvaamaan osa sideaineseoksen sementistä. Lentotuhkan määrä oli 10 % tai 15 % sideaineen kokonaismäärästä. Päästölaskennassa lentotuhkan oletettiin olevan energiantuotannon lentotuhkaa. Lentotuhkan valmistukselle ei allokoitu lainkaan päästöjä, eli se laskettiin nollapäästöisenä, kuten asiantuntijahaastattelujen perusteella on tehty vastaavissa päästölaskennoissa (luku 6.1.3). Lentotuhkan käsittelyn päästöt olisivat joka tapauksessa pienet verrattuna sementin valmistuksen päästöihin. Lentotuhkan kuljetukset kuitenkin otettiin huomioon päästölaskennassa. Lentotuhkan oletettiin tulevan pääkaupunkiseudulta, ja sen kuljetusmatkaksi laskettiin 20 km.

### Betonimurske

Betonimurske on jo pitkään maarakennuskäytössä ollut uusiomateriaali, jolla voidaan korvata luonnon sora- ja kalliomurskeita. Betonimurske valmistetaan murskaamalla jätebetoni, joka voi olla alkuperältään rakennusjätettä tai puhdasta ylijäämäbetonia, halutun ko-koiseksi murskeeksi ja poistamalla siitä raudat sekä muut epäpuhtaudet. Murskaus voidaan tehdä joko kierrätyslaitoksella, purkukohteessa tai kaupungin käsittelyalueella. (Dettenborn,

<sup>3</sup> Myös sementin valmistuksessa voidaan käyttää sementin seosaineina uusiomateriaaleja, kuten lentotuhkaa ja masuunikuonajauhetta. Seosaineiden käyttö vähentää kalkin määrää sementissä ja siten pienentää sementin valmistuksen päästöjä. (Finnsementti, N.D.)

2013.) Betonimursketta syntyy Suomessa vuosittain noin miljoona tonnia, ja siitä noin 80 % hyödynnetään uusiokäytössä (Mattila, 2015). Suomessa betonimurskeita valmistaa muun muassa Rudus Oy, joka myy betonimursketta tuotenimellä Betoroc. Betoroc-murske täyttää MARA-asetuksen (VNa 843/2017) vaatimukset (Rudus Oy, 2017). Betonimurskeen jätteen luokittelun päättymistä (End-of-Waste) koskeva asetus on parhaillaan valmisteilla (Vaajasaari, 2018).

Betoni sitoo elinkaarensa aikana ilmakehän hiilidioksidia reaktiossa, jota kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Karbonatisoitumisreaktiossa ilman hiilidioksidi reagoi betonin emäksisten yhdisteiden kanssa muodostaen neutraalia kalsiumkarbonaattia. Karbonatisoituminen on käänteisreaktio sementin valmistuksessa tapahtuvalle kalsinoitumisreaktiolle, jossa vapautuu hiilidioksidia. (Engelsen ym., 2015; Kuittinen, 2015.) Betonin murskaus kiihdyttää karbonatisoitumisreaktiota, sillä murskatulla betonilla on suurempi pinta-ala suhteessa tilavuuteen. Karbonatisoitumiseen vaikuttavat betonin palakoon lisäksi myös sääolosuhteet. Kuivat ja lämpimät olosuhteet edistävät reaktiota. Ilmalle altistuva betonimurske karbonatisoituu nopeammin kuin syvälle rakenteeseen haudattu betonimurske. (Collins, 2010.)

Anderssonin ym. (2013) mukaan portlandinsementistä valmistetun betonin teoreettinen hiilidioksidin sidontapotentialiaali on yhtä suuri kuin sementin valmistuksessa kalsinoitumisreaktiossa vapautunut hiilidioksidimäärä. Sitoutuvan hiilidioksidin taso voidaan ilmoittaa karbonatisoitumisasteena (prosenttia teoreettisesta karbonatisoitumispotentiaalista) (Andersson, 2013). Tutkimusten mukaan sementin valmistuksessa vapautuneesta hiilidioksidista noin neljäsosa sitoutuu takaisin betoniin jo betonirakenteen normaalin elinkaaren aikana. Karkeiden arvioiden mukaan Suomen olemassa oleva betonirakennuskanta sitoo karbonatisoitumisessa noin kolmasosan suomalaisessa sementin tuotannossa kalkkikivestä vapautuvasta hiilidioksidista. Käytöstä poistuvat betonirakenteet tavallisesti murskataan, ja murskaamisen myötä betonin kyky sitoa hiilidioksidia kasvaa. VTT:n tekemien tutkimusten mukaan varastoitaessa 0-45 mm raeeseen betonimursketta kasassa vuoden ajan, betonimurskeeseen sitoutuu vähintään 40 % ja enintään 50 % sementin valmistuksessa kalkkikivestä vapautuneesta hiilidioksidista. Loppukäytössään tierakenteessa vastaavat luvut betonimurskeen hiilensidonnasta ovat 50 % ja 66 %. (Mattila, 2015.) Collinsin (2010) mukaan betonin kyky sitoa hiiltä jätetään usein huomioimatta arvioitaessa primääristen tai sekundääristen betonirakenteiden hiilidioksidipäästöjä LCA-laskelmissa, mikä saattaa johtaa hiilidioksidipäästöjen yliarviointiin. Collinsin mukaan uusiomateriaalina käytetyn betonimurskeen kyky sitoa hiiltä on niin merkittävä, että se tulisi ottaa huomioon betonirakenteiden LCA-laskelmissa.

Betonimurskeen osalta diplomityön päästölaskentaesimerkissä tarkasteltiin, miten erilaiset rajaukset betonimurskeen elinkaareissa vaikuttavat päästölaskennan tuloksiin. Betonimurskeelle tehtiin neljä vaihtoehtoista rajausta, BeM A-D (taulukko 9). Ensimmäisessä vaihtoehdossa (BeM A) huomioitiin betonimurskeen valmistuksen päästöt siitä lähtien, kun betoni on purettu alkuperäisestä käyttökohteestaan ja kuljetettu murskauspaikalle, eli huomioitavia vaiheita olivat betonin murskaus, kuljetukset sekä asennus uusiokäyttökohteessa (levitys, tasoitus, muotoilu ja tiivistys). Toisessa vaihtoehdossa (BeM B) betonimurskeen valmistus katsottiin nollapäästöiseksi, eli murskauksen päästöjen oletettiin kuuluvan edelliselle elinkaarelle. Tässä vaihtoehdossa huomioitiin siis vain kuljetukset sekä asennus. Kolmannessa vaihtoehdossa (BeM C) oletuksena oli, että betonimurske on peräisin lähialueelta ja se murskataan paikan päällä esimerkkikohteen työmaalla, jolloin kuljetuksia ei ole. Tässä vaihtoehdossa huomioitiin siis vain asennuksen päästöt. Neljännessä vaihtoehdossa (BeM D) rajausta oli muuten sama kuin vaihtoehdossa BeM B, mutta tässä vaihtoehdossa otettiin huomioon

myös betonin kyky sitoa hiiltä karbonatisoitumisreaktiossa murskauksen jälkeisen varastoinnin aikana. Betonimurskeen sitovan hiilen määrä laskettiin käyttäen lähtötietona Betoroc - murskeen hiilijalanjälkilaskelmaa, jossa oletuksena on 50 % karbonatisoitumisaste (Rudus Oy 2014). Betoroc-murskeen hiilijalanjälkilaskelma noudattaa standardia EN-15804:2012+A1. Tien käyttövaiheen aikaista hiilidioksidin sitoutumista betonimurskeeseen ei laskuissa huomioitu, sillä laskelmissa huomioitiin ainoastaan rakentamisvaiheen päästöt. Betonimurskeen hiilensidontakykyä lukuun ottamatta laskennassa käytetyt päästötiedot ovat peräisin MELI-ohjelman sisältämästä tietokannasta. Päästölaskentaesimerkissä ei otettu huomioon sitä, että murskauksen päästöihin saattaa vaikuttaa se, miten suureen palakokoon betoni murskataan. Palakokoa ei ole huomioitu myöskään kiviaineksen osalta.

*Taulukko 9. Betonimurskeen ja kalliomurskeen rajausratkaisuvaihtoehdot päästölaskentaesimerkissä.*

Betonimurskeen ja kalliomurskeen rajausratkaisuvaihtoehdot	
BeM A	Murskaus, kuljetukset, asennus
BeM B	Kuljetukset, asennus
BeM C	Asennus
BeM D	Kuljetukset, asennus, hiilen sidonta
Kalliomurske	Louhintä, murskaus, kuljetukset, asennus

### Vaahtolasimurske

Vaahtolasimurske on eriste- ja kevennysmateriaali, joka valmistetaan puhdistetusta kierrätyslasista. Vaahtolasimursketta käytetään maarakentamisessa mm. kevennysrakenteissa ja routasuojauksissa. Suomessa vaahtolasia valmistetaan tällä hetkellä ainoastaan Forssassa Uusioaines Oy:ssä tuotenimellä FOAMIT®. Vaahtolasi valmistetaan jauhetusta kierrätyslasista, josta on poistettu epäpuhtaudet kuten metallit ja muovit. Vaahtolasin valmistusprosessissa lasijauhetta ja vaahdotusaineita sisältävä raaka-ainemassa kuumennetaan jatkuvatoimissa tasouunissa (900 °C), jossa massa paisuu noin viisinkertaiseksi. Paisutuksen jälkeen vaahtolasimassa jäähdytetään nopeasti, jolloin se halkeilee murskemaisiksi kappaleiksi. (Ramboll, 2013.) FOAMIT-vaahtolasimurskeen raaka-aineena käytettävästä keräyslasista osa on peräisin Suomesta ja osa tuodaan ulkomailta. FOAMIT-vaahtolasin hiilijalanjälkilaskelmaa ollaan parhaillaan päivittämässä. (Viitikko, 2018.) Vaahtolasilla voidaan korvata kevennys- ja routaeristystarkoituksissa perinteisesti käytettyä **kevytsoraa**, joka valmistetaan savesta polttamalla. Kevytsoraa on käytetty infrarakentamisessa jo 1950-luvulta lähtien. Kevytsoran valmistuksessa savi ja siihen sekoitettavat orgaaniset materiaalit poltetaan pyörivässä uunissa noin 1150 °C lämpötilassa. Poltossa savi paisuu ja muotoutuu rakeiksi (0-32 mm), jotka ovat lujia mutta kevyitä. Rakeet siivilöidään raekoon mukaan erilaisiksi lajitteiksi. Suomessa kevytsoraa myydään tuotenimellä Leca-sora, jota valmistaa Leca Finland Oy Kuusankoskella. Leca-kevytsoralle on tehty standardin EN 15804 + A1 mukainen ympäristöseloste (EPD). (Leca Finland Oy, 2017.)

Diplomityön päästölaskentaesimerkin skenaariossa 2 pilaristabiloinnin lisäksi tehdään kevennysrakenne, jossa kevennysmateriaalina voidaan käyttää perinteisenä vaihtoehtona kevytsoraa tai uusiomateriaalivaihtoehtona vaahtolasimursketta. Vaahtolasimurskeen päästö-

jen huomioimisessa sovellettiin luvussa 4 esiteltyä End-of-Waste -tilaan perustuvaa rajaushojetta. Vaahtolasimurske valmistetaan lasimurskeesta, jolla on EoW -status, joten End-of-Waste -tilaan perustuvan rajaushojteen mukaan päästölaskennassa tulee huomioida vaahtolasimurskeen valmistuksen päästöt, mutta ei lasimurskeen valmistusta. Kevytsoran valmistuksen päästöt huomioitiin raaka-aineiden hankinnasta lähtien, koska kyseessä on perinteinen materiaali.

Vaahtolasimurskeen osalta haastetta päästölaskentaan loi kuitenkin vaahtolasimurskeen päästötietojen saatavuus ja eri lähtötietojen huimat erot vaahtolasimurskeen valmistuksen hiilidioksidipäästöissä. Vaahtolasimurskeen valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästötiedot etsittiin Ecoinvent-tietokannasta (Ecoinvent, 2018a) ja pyydettiin Uusioaines Oy:lta, joka valmistaa Suomessa FOAMIT<sup>®</sup>-vaahtolasimursketta. Ecoinvent on kansainvälinen tietokanta, joka tarjoaa prosessitietoja tuhansista tuotteista ja on yleisesti käytetty tietokanta elinkaariarvioinneissa. FOAMIT<sup>®</sup>-murskeen hiilijalanjälkilaskelma on parhaillaan päivitettävänä (Viitikko, 2018), mutta koska päivitettyä laskelmaa ei ole vielä saatavilla, diplomityön laskelmissa käytettiin FOAMIT<sup>®</sup>:in vanhaa hiilijalanjälkilaskelmaa, jonka tiedot ovat vuodelta 2015 (Uusioaines Oy 2015). FOAMIT<sup>®</sup>-murskeesta ei ollut saatavilla muita päästötietoja kuin hiilijalanjälki.

FOAMIT<sup>®</sup> - vaahtolasimurskeen hiilijalanjälki sekä ja Ecoinvent -tietokannasta saatu tieto vaahtolasin valmistuksen hiilidioksidipäästöistä erosivat toisistaan huomattavasti. Ecoinventin mukaiset vaahtolasin valmistuksen hiilidioksidipäästöt (kg CO<sub>2</sub> ekv. / kg vaahtolasia) olivat noin kahdeksankertaiset verrattuna FOAMIT<sup>®</sup>-vaahtolasin hiilidioksidipäästöihin. Ecoinventin päästötiedot ovat peräisin belgialaiselta vaahtolasitehtaalta vuodelta 2005. Ero saattaa johtua eroavaisuuksista valmistusprosessissa tai eroista valmistuksessa käytetyn energian alkuperässä (uusiutuva / fossiilinen). Koska eri lähteiden päästötiedot vaahtolasin valmistuksen osalta erosivat toisistaan näin paljon, päätettiin vaahtolasikevennysrakenteen päästöt laskea vertailun vuoksi molempia päästöarvoja käyttäen (*Vaahtolasi A*: FOAMIT<sup>®</sup>-vaahtolasin päästötiedot, *Vaahtolasi B*: Ecoinventin päästötiedot). Myös kevytsoran valmistuksen CO<sub>2</sub>-päästötietoja vertailtiin kahdesta eri lähteestä, Ecoinventistä (Ecoinvent, 2018b) sekä suomalaisen Leca-soran ympäristöselosteesta (Leca Finland Oy, 2017). Kevytsoran valmistuksen hiilidioksidipäästöt olivat molempien lähteiden mukaan samaa suuruusluokkaa. Laskelmissa päätettiin käyttää Leca-soran ympäristöselosteen mukaisia hiilidioksidipäästöjä, koska kyseessä on suomalainen tuote.

## **Pohjatuhka**

Pohjatuhkaksi kutsutaan polttoprosesseissa syntyvää tuhkaa, joka jää polttokattilan pohjalle. Kivihiilen polton pohjatuhka vastaa tavallisesti rakeisuudeltaan hiekkaa. Ympäristökelpoisuudeltaan sopivaa pohjatuhkaa voidaan käyttää kiviaineksen korvaajana pengertäytöissä sekä teiden ja kenttärakenteiden suodatinkerroksessa. Hiekkaan verrattuna pohjatuhkan käytön etuja ovat sen hyvä lämmöneristävyys ja keveys. (Kiviniemi ym., 2012.) MARA-asetuksen soveltamisalaan kuuluvia pohjatuhkia ovat kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton pohjatuhkat (VNa 843/2017).

Tuhkien hyödyntämistä maarakentamisessa on pyritty edistämään tuotteistamisella. Esimerkiksi suomalainen Ecolan myy turpeen ja puuperäisen aineksen polton lento- ja pohjatuhkista prosessoitua, luonnonhiekkaa korvaavaa rakeistettua uusiomateriaalia maarakennuskäyttöön. Tuhkien prosessointiin kuuluu mm. sekoittamista rakeistusrummussa ja tuhkiin



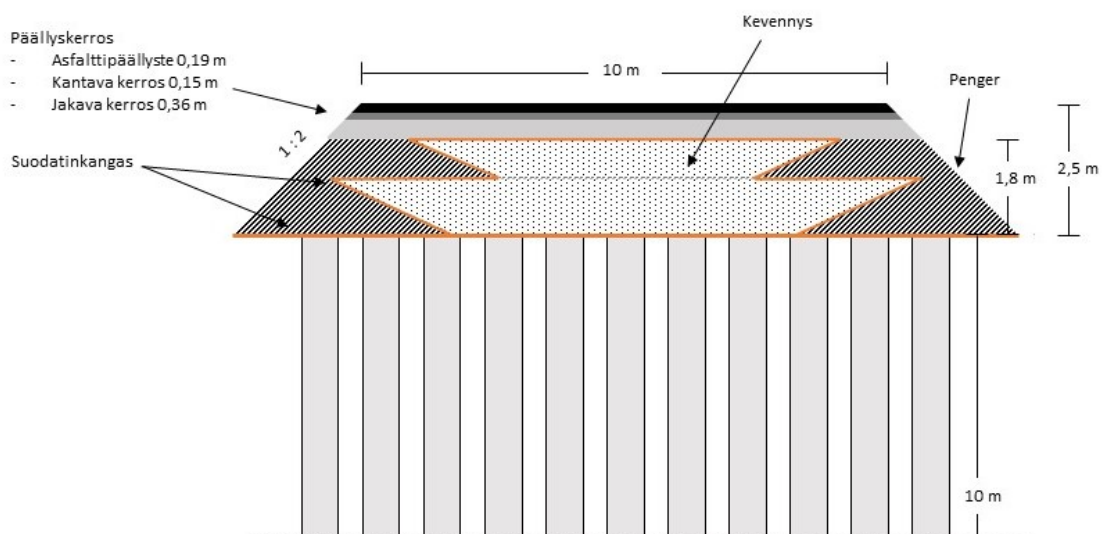
saatetaan lisätä pieniä määriä sitoutumista lisääviä aineita. Ecolanin tuotteilla ei ole vielä olemassa ympäristöselostetta tai hiilijalanjälkilaskelmaa (Nurmi, 2018). Suomen Erityisjäte puolestaan valmistaa Scanwas-tuotenimellä jätteenpolton pohjakuonasta keinokiviainesta, jota voidaan hyödyntää infrarakentamisessa hiekan ja soran sijasta (Suomen Erityisjäte, n.d.).

Diplomityön päästölaskentaesimerkin esimerkkikohteessa skenaarioissa 1 ja 3 pohjatuhka on pengertäytössä betonimurskeen ohella toinen mahdollinen kiviaineksen korvaava uusiomateriaali. Skenaariossa 2 pohjatuhka ei ole kevennyksen takia mielekäs materiaalivaihtoehto. Esimerkkilaskelmissa ei tarkemmin määritelty, millaisesta polttoprosessista peräisin oleva pohjatuhka on kyseessä, sillä lentotuhkan tavoin myös pohjatuhka oletettiin laskentaesimerkissä nollapäästöiseksi eli sen valmistukselle tai prosessoinnille ei allokoitu lainkaan päästöjä. Kuljetukset kuitenkin huomioitiin. Laskentaesimerkissä oletettiin, että käytettävä pohjatuhka syntyy melko lähellä esimerkkihanketta, joten kuljetusmatkoiksi oletettiin 20 km eli sama kuin kiviaineksella.

### 5.2.3 Esimerkkikohte

Diplomityön päästölaskentaesimerkissä käytettiin esimerkkikohteena yhden kilometrin pituista ja 10 metrin levyistä kaksikaistaista tiepengertä (kuva 6). Teoreettinen esimerkkikohte mitoitettiin Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) ohjeiden mukaisesti, kohteen määräluettelo esitetään liitteessä 2.

Laskentaesimerkissä tarkasteltiin kolmea toteutusvaihtoehtoa: skenaariossa 1 tiepenger rakennetaan pehmeikölle ja pohjanvahvistusmenetelmänä käytetään pilaristabilointia. Skenaariossa 2 tiepenger rakennetaan myös pehmeikölle, mutta pilaristabiloinnin lisäksi tehdään kevennysrakenne, jolloin pilariväli voi olla suurempi kuin vaihtoehdossa 1. Skenaariossa 3 tiepenger rakennetaan kantavalle maapohjalle, jolloin pohjanvahvistusmenetelmiä ei tarvita. Kunkin toteutusskenaarion sisältämät rakenneosat sekä rakenneosien vaihtoehtoiset materiaalit on esitetty taulukossa 10. Penkereen geometria on sama kaikissa kolmessa skenaariossa vertailtavuuden mahdollistamiseksi.



Kuva 6. Kaaviokuva päästölaskennan esimerkkikohteen mitoituksesta.

Taulukko 10. Päästölaskentaesimerkin eri skenaarioihin kuuluvat rakenneosat ja tarkastellut materiaalivehtoehdot.

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Perinteinen materiaali	Uusio-materiaali
Pilaristabilointi	x	x		sementti, kalkki	lentotuhka*
Kevennys		x		kevytsora	vahtolasimurske
Penger	x	x	x	kalliomurske	betonimurske, pohjatuhka
Suodatinkangas	x	x		suodatinkangas	-
Jakava kerros	x	x	x	kalliomurske	betonimurske
Kantava kerros	x	x	x	kalliomurske	-
Päällyste	x	x	x	AB 20	-

\*Pilaristabiloinnin sideaineseoksessa osa sementistä voidaan korvata lentotuhkalla.

Diplomityön laskentaesimerkissä tarkasteltiin ainoastaan rakentamisvaiheen (materiaalien valmistus, kuljetukset ja asennus työmaalla) CO<sub>2</sub>-päästöjä. Päästölaskennassa huomioidut vaiheet on esitetty taulukossa 11. MELI-ohjelman huomioimat rakentamiseen liittyvät työvaiheet noudattavat pääosin InfraRYL:in rakenneosakohtaisia työsuoritteiden kuvauksia. Päästölaskennassa ei huomioitu tien käytön, kunnossapidon ja käytöstä poistamisen päästöjä, koska laskennassa käytetyllä ohjelmalla on mahdollista laskea ainoastaan rakentamisvaiheen päästöjä. Laskentaesimerkissä ei tarkasteltu uusiomateriaalien käytön taloudellisia vaikutuksia tai vaikutuksia tien toimintaan tai vaurioitumiseen.

*Taulukko 11. Kunkin rakenneosan kohdalla päästölaskennassa huomioon otetut vaiheet.*

<b>Rakenneosa/työ- vaihe</b>	<b>Päästölaskennassa huomioon otetut vaiheet</b>
Pintamaan poisto	Pintamaan irrotus, kuormaus ja kuljetus, levitys läjityksessä.
Pilaristabilointi	Sementin ja sementin raaka- aineiden valmistusprosessit, sementin kuljetus, kalkin valmistus ja kuljetus, sekä pilareiden teko
Kevennys	Kevennysmateriaalin valmistus, kuljetus ja levitys.
Penger	Kiviaines: louhinta, murskaus, altakanto kasaan, murskeen lastaus ja kuljetus. Betonimurske: murskaus, altakanto kasaan, lastaus ja kuljetus, levitys ja tassa- saus, muotoilu ja tiivistys (ks. taulukko 9). Pohjatuhka: lastaus ja kuljetus, levitys ja tassa- saus, muotoilu ja tiivistys
Suodatinkangas	Suodatinkankaan valmistus ja kuljetus
Jakava kerros	Kiviaines: louhinta, murskaus, altakanto kasaan, murskeen lastaus ja kuljetus. Betonimurske: murskaus, altakanto kasaan, lastaus ja kuljetus, levitys ja tassa- saus, muotoilu ja tiivistys (ks. taulukko 9).
Kantava kerros	Murskeen tuotanto louhinnasta lastaukseen, kuljetus, levitys, muotoilu ja tiivistys.
Päällyste	Asfaltin raaka-aineiden valmistus, asfaltin valmistus, kuljetus, levitys ja tiivistys.

Laskentaesimerkissä lähtötietoina käytettiin pääasiassa MELI-ohjelman sisältämän tietokannan päästökertoimia. MELI-ohjelma ilmoittaa pelkät hiilidioksidipäästöt, ei kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuina. Vaahtolasimurskeen ja kevytsoran osalta materiaalien valmistuksen päästötietoina käytettiin saatavilla olevia tuotekohtaisia päästötietoja (ks. luku 5.2.2). Lentotuhkalla korvattiin pilaristabiloinnin sideaineseoksessa vain osa sementistä (ks. luku 5.2.2.), mutta muiden uusiomateriaalien oletettiin korvaavan perinteiset materiaalit rakenteeseen tiivistettynä suhteessa 1:1.

Kuljetusmatkoja arvioitaessa esimerkkitapahtuman oletettiin sijaitsevan Itä-Helsingissä. Kiviainesten, muualta tuodun betonimurskeen ja lentotuhkan oletettiin tulevan pääkaupunkiseudun sisäältä, jolloin arvioitu kuljetusmatka on noin 20 km (täysi menokuorma, tyhjä paluukuorma). Muiden materiaalien osalta kuljetusmatka laskettiin etäisyytenä mahdollisen materiaalitoimittajan tehtaalta Helsinkiin. Sementin ja kalkin oletettiin tulevan Paraisilta, kevytsoran Kuusankoskelta ja vaahtolasimurskeen Forssasta. Suodatinkankaan oletettiin tulevan Saksasta. MELI-ohjelmaan syötetyt kuljetusmatkat tulee erotella taajama- ja maaseutu-ajoon. Pääkaupunkiseudulla tapahtuvan ajon oletettiin olevan taajama-ajoa, muut kuljetusmatkat oletettiin maaseutuajoksi. Kaikki päästölaskentaesimerkissä käytetyt kuljetusmatkat on esitetty liitteessä 2.

## 6 Tulokset ja niiden tarkastelu

### 6.1 Yhteenvedo haastatteluista

#### 6.1.1 Infrahankkeiden ympäristövaikutusten elinkaarilaskenta

Haastatellut asiantuntijat olivat yhtä mieltä siitä, että päästölaskennan tulisi tulevaisuudessa olla normaali osa infrahankkeiden suunnittelua. Päästölaskennan tulisi olla prosessi, joka aloitetaan jo hankesuunnittelun alkuvaiheessa ja tarkentuu suunnitelmien edetessä. Jonkinlaista elinkaaren aikaisten päästöjen arviointia tulisi tehdä jo yleissuunnitteluvaiheesta lähtien, sillä yleissuunnitelmassa suunnitellaan hankkeen sijainti ja suuret suuntaviivat, joilla on myös suuri vaikutus hankkeen päästöihin. Yleissuunnitelmassa voidaan vaikuttaa tien linjaukseen ja esimerkiksi siihen, rakennetaanko siltoja tai tunneleita, ja tarvitaanko pohjanvahvistuksia. Linjauksella voidaan vaikuttaa tien käytön aikaisiin liikenteen päästöihin. Pohjanvahvistusrakenteisiin käytetään paljon sementtiä, minkä vuoksi ne aiheuttavat paljon ympäristökuormitusta. Yleissuunnitelmavaiheessa päästölaskentaa ei voida tehdä vielä kovin tarkasti, mutta hankesuunnittelun edetessä myös päästölaskentaa tulisi tarkentaa. Moni haastateltava oli sitä mieltä, että päästöarvioita olisi hyvä jälkilaskennalla verrata toteutuneisiin päästöihin esimerkiksi rakennusvaiheen valmistuttua. Haastatellut asiantuntijat olivat melko yksimielisiä siitä, että elinkaariarviointien tulosten tulisi olla ainakin pääosin julkisia.

Tulevaisuudessa päästötavoitteiden hyödyntäminen suunnittelun ohjauksessa ja kilpailutuksessa tulee todennäköisesti yleistymään. Tilaaja voi esimerkiksi asettaa hankkeelle päästötavoitteita, ja päästötavoitteiden toteutuminen otetaan huomioon vertailtaessa tarjouksia. Urakoille voidaan asettaa tarkempia päästötavoitteita, joihin urakoitsijoiden tulee sitoutua. Kuitenkin jotta päästötavoitteita voitaisiin hyödyntää kilpailutuksessa, tulisi päästölaskentamenetelmien olla yhdenmukaisia ja vertailukelpoisia.

Haastateltavien mielestä päästölaskentaa tulisi tulevaisuudessa tehdä ainakin kaikissa suurissa ja keskisuurissa hankkeissa. Päästölaskennan pakollisuudelle voisi olla jokin kynnysarvo, jonka mukaan esimerkiksi budjetiltaan tietyn suuruisille hankkeille päästölaskenta olisi pakollinen. Ruotsissa Trafikverket on asettanut velvoitteen, jonka mukaan elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen arviointi on pakollista hankkeille, joiden investointibudjetti on yli 50 miljoonaa Ruotsin kruunua (Pasanen & Miilumäki, 2017a). Trafikverket on myös määritellyt suunnitteluvaiheet, joissa hankkeen elinkaaren hiilijalanjälki tulee arvioida. Haastatteluissa mainittiin myös pohjoismainen NordLCA-hanke, jossa selvitetään eri maiden käytäntöjä ja Pohjoismaiden suosituksia ja toimintatapoja pyritään todennäköisesti yhtenäistämään. Osa haastatteluista asiantuntijoista oli sitä mieltä, että tulevaisuudessa elinkaari-päästöjen arviointia voitaisiin tehdä lähes kaikissa hankkeissa, kunhan laskenta saadaan sen verran automaattiseksi esimerkiksi tietomalliin (BIM) yhdistettynä, ettei se vaatisi juurikaan ylimääräisiä resursseja tai veisi aikaa. Toistaiseksi infrarakentamisen päästölaskennasta ja elinkaariarvioinneista on Suomessa kuitenkin melko vähän kokemuksia.

Asiantuntijahaastatteluissa nousi esiin useita ongelmia infrarakentamisen elinkaari-päästöjen arvioinnin nykytilanteessa. Suomessa osa infrarakentamisen elinkaariarvioinneissa käytettävistä työkaluista ei noudata mitään standardia, eivätkä eri työkalujen laskentamenetelmät

välttämättä ole yhdenmukaisia. Laskentamenetelmien standardisointi parantaisi vertailukelpoisuutta, mutta toisaalta standarditkin jättävät tulkinnanvaraa ja niitä voidaan soveltaa eri tavoin. Yksi haastateltavista ehdotti, että tilaajan tulisi tehdä tulkinta standardien soveltamisesta eikä jättää tulkinnanvaraa laskijalle. Toistaiseksi kuitenkin tilaajilta puuttuu asiantuntemusta eikä Suomessa ei ole kansallista ohjeistusta siitä, miten infrarakentamisen elinkaari-päästöjen arviointi tulisi toteuttaa. Lisäksi yhteiset pelisäännöt siitä, mitkä kaikki asiat arvioinnissa tulee ottaa huomioon, puuttuvat. Nykyisin ongelmana on ollut myös se, että eri laskentaohjelmat käyttävät erilaisia tietolähteitä ja päästökertoimia. Erään haastateltavan mukaan tässäkin asiassa tilaajan tulisi antaa ohjeistus ja toimeksiannossa tulisi kertoa, käytetäänkö esimerkiksi tietyn tuotteen päästötietoja vai globaaleja arvoja. Osa haastateltavista korosti, että käytettävien päästötietojen tulisi olla Suomen olosuhteisiin sopivia. Yksi haastateltava ehdotti, että kaikissa infrahankkeiden elinkaariarvioinneissa tulisi käyttää samaa, yhteisesti hyväksyttyä tietokantaa.

Yksi haastatteluissa esiin noussut ongelma on se, että infrahankkeiden päästölaskennan tekijöillä ei ole aina ollut tarpeeksi substanssiosaamista tai kokemusta laskentaohjelmien käytöstä. On tärkeää, että laskijalla on riittävä substanssiosaaminen esimerkiksi siitä, mitä työvaiheita tarkastelun kohteena olevaan hankkeeseen kuuluu.

Osa asiantuntijoista nosti esille aikanäkökulman infrahankkeiden elinkaari-päästöjen arvioinnissa. Siinä missä esimerkiksi monien tuotteiden elinkaari on hyvin selkeä, infrakohteiden elinkaaren loppua ei ole yhtä helppoa määritellä, sillä monet infrarakenteet ovat hyvin pitkäikäisiä. Nykyisin infrahankkeiden päästölaskennassa otetaan usein huomioon lähinnä vain rakentamisvaiheen päästöt. Osa asiantuntijoista nosti haastattelussa esiin, että rakentamisvaiheen lisäksi päästölaskennassa tulisi ottaa huomioon muutkin elinkaaren vaiheet, eli mm. käytön aikainen ylläpito. Rakentamisvaiheessa tehtävillä valinnoilla voidaan vaikuttaa myös tien käytön aikaisiin liikenteen päästöihin, ja myös näitä vaikutuksia olisi hyvä arvioida jo suunnitteluvaiheessa.

### **6.1.2 Ympäristövaikutusindikaattorit**

Kasvihuonekaasupäästöjen merkitys infrahankkeiden tärkeimpänä ympäristövaikutusindikaattorina nousi selkeästi esiin asiantuntijahaastatteluissa. Kaikki haastateltavat pitivät kasvihuonekaasupäästöjen arviointia tärkeänä. Yksi haastateltavista painotti, että kasvihuonekaasupäästöt ovat muodostumassa reunaehdoksi, joka on huomioitava kaikessa toiminnassa ja jatkuvasti on pyrittävä yhä vähäpäästöisempiin ratkaisuihin. Tämän haastateltavan mukaan rakennuslalla voitaisiin ensin opetella käyttämään hiilijalanjälki-indikaattoria normaalien rakentamisen toimivuusvaatimusten lisäksi.

Lähes kaikki haastatellut asiantuntijat mainitsivat myös resurssitehokkuutta ja materiaalien käyttöä kuvaavat indikaattorit tärkeiksi. Infrarakentamisessa käytetään suuria määriä materiaaleja, mutta suuri osa materiaaleista on vain vähän prosessoituja. Sen takia kuljetukset ovat suuressa roolissa infrarakentamisen ympäristövaikutusten aiheuttajana. Infrarakentamisen materiaalitehokkuudessa ei Suomessa ole niinkään kyse siitä, että rakennusmateriaalit olisivat loppumassa, mutta materiaalitehokkuus on usein yhteydessä kustannuksiin sekä kasvihuonekaasupäästöihin ja sen vuoksi tärkeä huomioida. Paikallisesti myös neitseellisten materiaalien väheneminen saattaa olla ongelma. Osa haastateltavista nosti esiin hankkeiden sisäisten massojen hyödyntämisen, jota tulisi pyrkiä edistämään.

Osa haastateltavista mainitsi myös myrkyllisyysasiat merkittävänä infrarakentamisen ympäristövaikutuksena. Kuitenkin vain yksi haastateltavista nosti toksisuutta kuvaavat indikaattorit tärkeimpien arvioitavien indikaattoreiden joukkoon. Yksi haastateltava kommentoi, että toksisuutta kuvaavat indikaattorit eivät toimi, eivätkä anna tuloksia, joiden perusteella voitaisiin tehdä johtopäätöksiä. Tämän haastateltavan mielestä terveyshaitat ja ympäristömyrkyt ovat kuitenkin muuta kautta sääntelyn piirissä, joten myrkyllisyysasioita ei tarvitsisi sisällyttää elinkaari päästöjen arviointiin.

Alailmakehän otsonin muodostuminen, yläilmakehän otsonikerroksen oheneminen, happamoituminen ja rehevöityminen ovat kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi elinkaariarvioinneissa tyypillisesti arvioitavia indikaattoreita. Haastatellut asiantuntijat eivät kuitenkaan nostaneet mitään näistä erityisen merkittäväksi indikaattoriksi. Eräs haastateltava myös totesi, että kasvihuonekaasupäästöt ovat ainoa indikaattori, josta todellisuudessa ollaan kiinnostuneita päätöksenteossa.

Moni haastateltavista oli sitä mieltä, että paikalliset erityispiirteet ja rakennettavan alueen herkkyyks tulee ottaa huomioon ympäristökestävyysarviointia tehtäessä. Esimerkiksi rakennettaessa tiheästi asutulla kaupunkialueella tulee melu- ja pölypäästöihin kiinnittää enemmän huomiota kuin kaukana asutuksesta sijaitsevalla työmaalla. Alueellisia vaikutuksia arvioitaessa tulee muistaa se, että elinkaariarvioinnissa huomioitavista päästöistä suuri osa, esimerkiksi materiaalien valmistuksen päästöt ja kuljetusten aiheuttamat päästöt, muodostuvat usein jossain muualla kuin missä itse tarkasteltava kohde sijaitsee.

Haastatteluissa mainittuja infrarakentamisen merkittäviä ympäristövaikutuksia ovat myös melu, tärinä, pienhiukkaset ja pöly, vaikutukset pohjaveteen sekä tilankäytön vaikutus maisemaan, luontoarvoihin ja lajistoon. Näitä ympäristövaikutuksia tulee kuitenkin ottaa huomioon myös esimerkiksi lainmukaisessa ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA). Osa haastateltavista mainitsi, että YVA ja elinkaariarviointipohjainen päästölaskenta voisivat täydentää toisiaan.

Yksi haastatteluissa esiin noussut asia oli, että infrarakentamisen elinkaariarviointi tulisi saada käytännönläheiseksi, eikä sen pidä olla liian monimutkaista. Jos liian monta indikaattoria raportoidaan, riskinä on, että tärkeät vaikutukset eivät erotu riittävän selkeästi. Merkittävimmät ympäristövaikutukset tulisi tuoda elinkaariarvioinnin tulosten raportoinnissa selkeästi esiin.

### 6.1.3 Uusiomateriaalit päästölaskennassa

Haastatelluilla asiantuntijoilla ei ollut yhtenäistä käsitystä siitä, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet tulisi ottaa huomioon päästölaskentatarkasteluissa. Elinkaariarvioinnin tekeminen infrahankkeissa on vielä sen verran uutta, ettei uusiomateriaalien huomioimisesta elinkaariarvioinneissa ole vielä paljon kokemuksia. Haastatelluista kolme oli itse ollut tekemässä elinkaariarviointia, jossa oli ollut mukana myös uusiomateriaaleja.

Yksi haastateltavista kertoi soveltaneensa lähes kaikissa tapauksissa kestävän rakentamisen EN-standardien mukaista ohjetta (*"kierrätysmateriaaleja tuottavan ja niitä käyttävän järjestelmän välinen raja vedetään siihen, missä materiaalit saavuttavat End-of-Waste -tilan"*, ks.

luku 3.3.), myös silloin, kun uusiomateriaalilla ei ole virallista End-of-Waste -statusta. Haastateltavan mukaan, vaikka materiaalilla ei olisi lainmukaista End-of-Waste -statusta, vastaava tila kyllä löytyy materiaalin arvoketjusta. Tämän tulkinnan mukaan kaikkien uusiomateriaalien valmistuksen ja prosessoinnin päästöt, lukuun ottamatta kuljetuksia käyttökohteeseen, kuuluvat siis edelliselle elinkaarelle, eli uusiomateriaalin katsotaan olevan nollapäästöinen käyttökohteessaan.

Toinen haastateltava kertoi tehneensä elinkaarilaskentaa infrahankkeessa, jossa oli käytetty energiantuotannon tuhkia rakennusmateriaalina. Tuhkat oli huomioitu päästölaskennassa nollapäästöisinä, sillä kaikki niiden tuotantoprosessin päästöt allokoitiin varsinaisille tuotteille. Kuljetukset otettiin kuitenkin huomioon. Perusteluna rajaukselle käytettiin Antikaisen julkaisua Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet (2010). Myös kolmas asiantuntija, joka oli itse tehnyt elinkaarilaskentaa ottaen huomioon myös uusiomateriaaleja, oli laskenut uusiomateriaalien valmistuksen nollapäästöisenä.

## **6.2 Päästölaskennan tulokset**

### **6.2.1 Esimerkkikohteen kokonaispäästöt rakenneosittain**

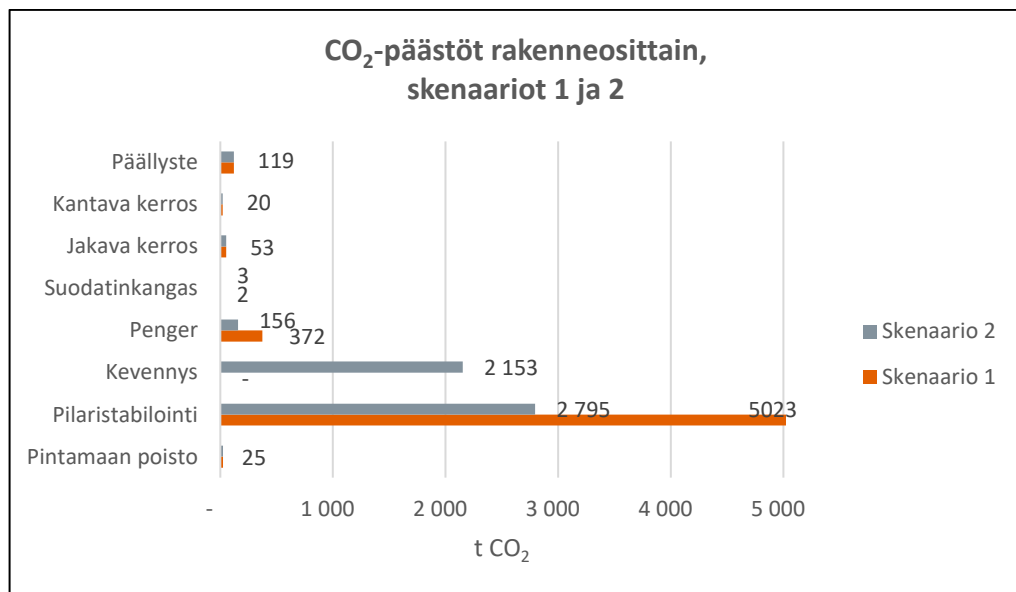
Diplomityön päästölaskentaesimerkin kaikkien kolmen toteutusskenaarion (taulukko 10) päästölaskennan tulokset materiaalivaihtoehtojen on esitetty liitteessä 2. Päästölaskentaesimerkissä laskettiin vertailukohdaksi uusiomateriaalien käytöstä mahdollisesti syntyville päästövähennyksille esimerkkihankkeen eri toteutusskenaarioiden kokonaishiilidioksidipäästöt sekä hiilidioksidipäästöt rakenneosittain, kun käytetään pelkästään perinteisiä materiaaleja eli luonnonkiviaineita. Hankkeen CO<sub>2</sub>-päästöt rakenneosittain eri toteutusskenaarioissa on esitetty kuvissa 7 ja 8.

Vertailtaessa perinteisillä materiaaleilla toteutettujen skenaarioiden 1, 2 ja 3 CO<sub>2</sub>-päästöjä on selkeästi huomattavissa, että pohjanvahvistusmenetelmät aiheuttavat hyvin paljon päästöjä ja siten muodostavat suurimman osan esimerkkikohteen rakentamisvaiheen kokonaishiilidioksidipäästöistä skenaarioissa 1 ja 2. Skenaariossa 1 pilaristabilointi muodostaa lähes 90 % kokonaispäästöistä, jotka ovat 5 615 t CO<sub>2</sub>. Skenaariossa 2, jossa pilaristabiloinnin lisäksi tehdään kevennys, hankkeen kokonaispäästöt ovat noin 5 % pienemmät kuin skenaariossa 1. Käytettäessä kevennysrakennetta pilaristabiloinnin päästöt laskevat pienemmän pilaritiheyden takia, mutta myös kevennysrakenne aiheuttaa paljon CO<sub>2</sub>-päästöjä, johtuen lähinnä kevennysmateriaalin valmistuksesta. Skenaariossa 3, jossa tiepenger rakennetaan kantavalle maapohjalle eikä pohjanvahvistusmenetelmiä siksi tarvita, kokonaispäästöt (589 t CO<sub>2</sub>) vastaavat vain noin kymmenesosaa skenaarioiden 1 ja 2 kokonaispäästöistä. Skenaariossa 3 penger muodostaa noin 60 % kokonaispäästöistä ja asfalttipäällyste noin 20 %.

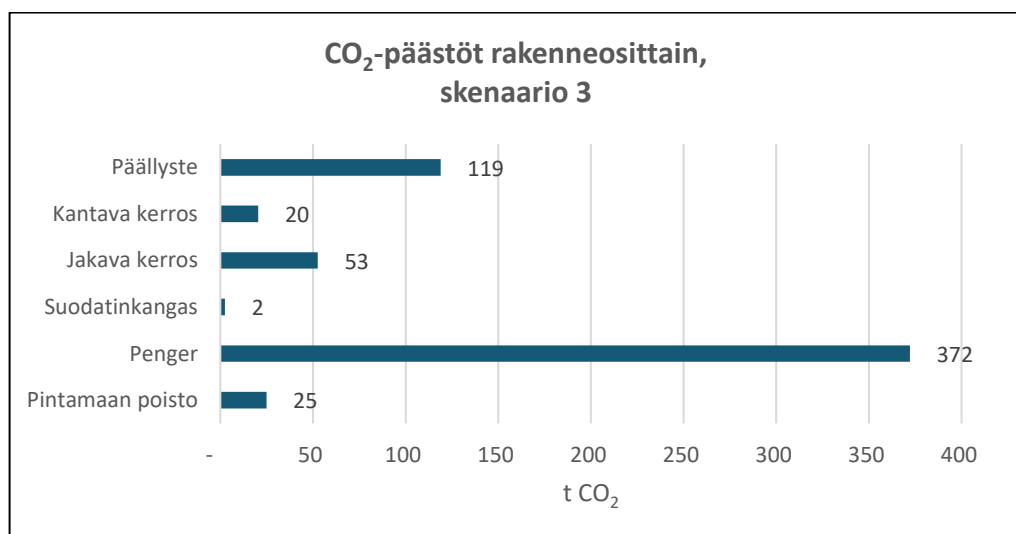
Skenaarioissa 1 ja 2 esimerkkikohde rakennetaan pehmeikölle. Mikäli pehmeikön paksuus olisi erilainen, esimerkiksi 10 metrin sijaan 5 m tai 20 m, vaikuttaisi se skenaarioiden 1 ja 2 väliseen päästöeroon. Pienemmällä pehmeikön paksuudella päästöjen ero pieneneisi ja saatataisi johtaa jopa suurempaan päästöön skenaariolla 2, kun taas suuremmalla pehmeikön paksuudella skenaarion 2 päästöt olisivat selvästi pienemmät kuin skenaariolla 1. Syynä tähän

on se, että kevennyksen tilavuus ei muutu merkittävästi savikon syvyyden suhteen toisin kuin pilarien yhteispituus.

Eri skenaarioiden päästöjä vertailemalla voidaan todeta, että tien linjauksen valinnalla voidaan vaikuttaa hankkeen rakentamisvaiheen kokonaispäästöihin. Pehmeikölle rakennettaessa tarvitaan pohjanvahvistuksia, jotka aiheuttavat paljon hiilidioksidipäästöjä. Jos voidaan välttää tien rakentamista pehmeikölle, vältetään tarpeelta rakentaa pohjanvahvistuksia. Toisaalta pohjanvahvistusten tarpeen lisäksi tien linjauksella voidaan vaikuttaa myös esimerkiksi siltojen, tunneleiden ja kallioleikkausten tarpeeseen. Näiden rakenteiden päästöjä ei tarkasteltu tarkemmin tässä diplomityössä, mutta niiden rakentaminen on myös hyvin päästöintensiivistä.



Kuva 7. Skenaarioiden 1 (pilaristabilointi) ja 2 (pilaristabilointi ja kevennysrakenne) CO<sub>2</sub>-päästöt rakenneosittain, kun käytössä on vain perinteisiä materiaaleja.



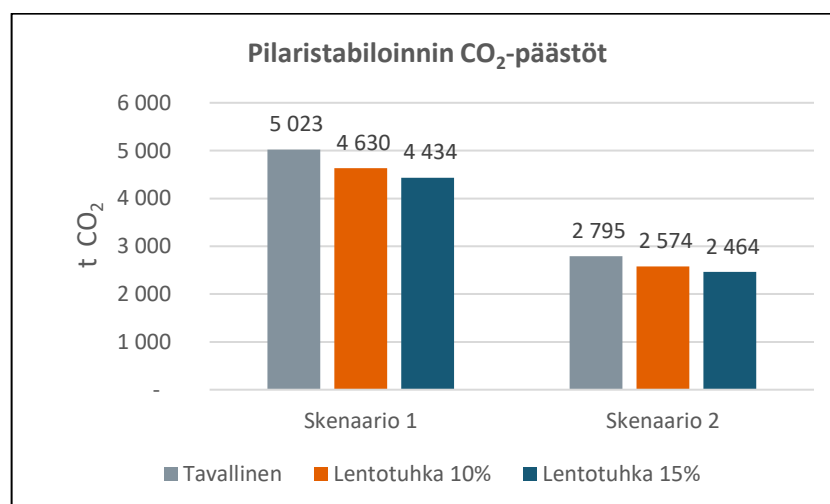
Kuva 8. Skenaariot 3 (kantava maapohja, ei pohjanvahvistuksia) CO<sub>2</sub>-päästöt rakenneosittain, kun käytössä on vain perinteisiä materiaaleja.



## 6.2.2 Lentotuhkan käyttö pilaristabiloinnissa

Diplomityön päästölaskentaesimerkin tulosten perusteella pilaristabiloinnin päästöjä voidaan vähentää korvaamalla osa pilaristabiloinnin sideaineseoksessa käytettävästä sementistä lentotuhkalla (kuva 9). Laskentaesimerkin skenaariossa 1 (pilaristabilointi, ei kevennystä) tavallisen pilaristabiloinnin hiilidioksidipäästöt ilman lentotuhkan käyttöä olivat 5 023 t CO<sub>2</sub>. Vaihtoehto, jossa lentotuhkan osuus pilaristabiloinnin sideaineesta oli 15 %, aikaansai 12 % vähennyksen pilaristabiloinnin CO<sub>2</sub>-päästöissä ja 10 % päästövähennyksen esimerkkikohteen kokonaispäästöissä. Vaihtoehto, jossa lentotuhkan osuus oli 10 %, pilaristabiloinnin CO<sub>2</sub>-päästöt vähenivät noin 8 % ja esimerkkikohteen kokonaishiilidioksidipäästöt 7 %.

Skenaariossa 2 (pilaristabilointi ja kevennysrakenne), lentotuhkan käytöstä saadut prosentuaaliset päästövähennykset esimerkkikohteen kokonaispäästöistä olivat hieman pienemmät, koska pilaristabiloinnin osuus esimerkkikohteen kokonaispäästöistä on tässä skenaariossa pienempi. Kun tässä skenaariossa lentotuhkan osuus pilaristabiloinnin sideaineesta oli 15 %, hankkeen kokonaispäästöt vähenivät 6 %, ja kun lentotuhkan osuus pilaristabiloinnin sideaineesta oli 10 %, hankkeen kokonaispäästöt vähenivät 4 %.

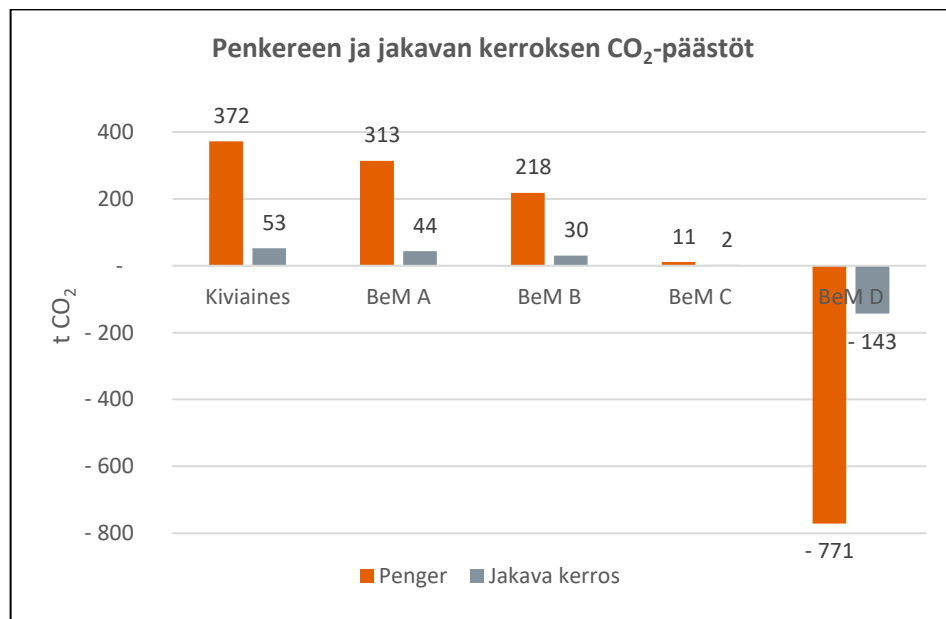


Kuva 9. Pilaristabiloinnin CO<sub>2</sub>-päästöt skenaarioissa 1 (pilaristabilointi) ja 2 (pilaristabilointi ja kevennysrakenne) erilaisilla lentotuhkan osuuksilla (tavallinen pilaristabilointi eli ei lentotuhkaa, lentotuhkaa 10% sideaineen kokonaismäärästä ja lentotuhkaa 15 % sideaineen kokonaismäärästä).

## 6.2.3 Betonimurske kiviaineksen korvaajana

Diplomityön päästölaskentaesimerkissä penkereessä sekä jakavassa kerroksessa vaihtoehtoisina materiaaleina olivat kalliomurske (perinteinen materiaali) sekä betonimurske (uusiomateriaali). Betonimurskeen osalta laskennassa tarkasteltiin erilaisia vaihtoehtoja sille, mitkä kaikki betonimurskeen elinkaaren vaiheet otetaan laskennassa huomioon (vaihtoehdot BeM A-D, katso taulukko 9 luvussa 5.2.2). Kuvassa 10 on esitetty penkereen ja jakavan

kerroksen CO<sub>2</sub>-päästöt skenaarioissa 1 ja 2, kun materiaalina on käytetty kiviainesta (kalliomurske) tai betonimursketta. Skenaariossa 2 (pilaristabilointi ja kevennysrakenne) on kevennysrakenteen takia eri kokoinen pengeri, joten se on jätetty pois kuvasta 10.



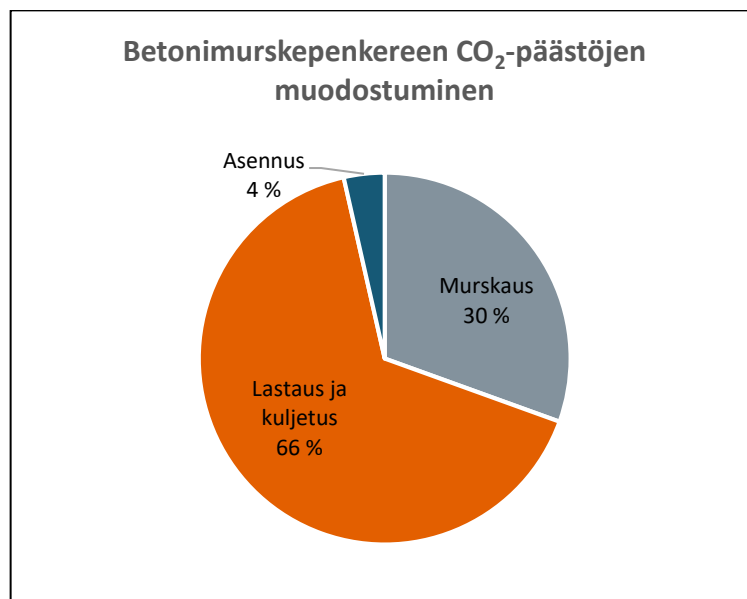
Kuva 10. Betonimurskeen rajausratkaisuvaihtoehtojen vaikutus penkereen ja jakavan kerroksen CO<sub>2</sub>-päästöihin skenaarioissa 1 (pilaristabilointi) ja 3 (kantava maapohja, ei pohjanvahvistuksia) kalliomurskeesta valmistettuun penkereeseen verrattuna.

Päästölaskennan tulosten perusteella betonimurskeen erilaiset rajausratkaisuvaihtoehdot voivat vaikuttaa merkittävästi laskennallisiin CO<sub>2</sub>-päästöihin (kuva 10). Laskentaesimerkissä betonimurskeen käytöstä saatu päästövähennys penkereen hiilidioksidipäästöistä oli betonimurskeen rajaustavasta riippuen 16 - 307 %. Kun verrataan betonimurskepenkereen CO<sub>2</sub>-päästöjä kalliomurskeesta valmistetun penkereen CO<sub>2</sub>-päästöihin, betonimurskeen käyttö vähentää rajausratkaisuvaihtoehdossa A (laskennassa huomioitu murskaus, kuljetukset ja asennus) penkereen päästöjä 16 %. Jos betonin murskauksen päästöjen oletetaan kuuluvan betonin edelliselle elinkaarelle (rajausratkaisu BeM B), laskennallinen päästövähennys on 41 %. Jos betonin murskauksen päästöjä ei huomioida ja betonimurske hyödynnetään sen syntypaikalla eli kuljetuksia ei tarvita (rajausratkaisu BeM C), päästövähennys muualta tuotavan kalliomurskeen käyttöön verrattuna on jopa 97 %.

Erityisen suuri vaikutus päästölaskennan tuloksiin on sillä, huomioidaanko laskuissa betonimurskeen kyky sitoa hiiltä ja kuinka suureksi tämä kyky huomioidaan. Kun karbonatisoitumisreaktiossa betonimurskeeseen sitoutunut hiilidioksidi huomioitiin päästölaskennassa (rajausratkaisu BeM D), betonimurskeesta valmistettujen rakenneosien (penkere ja jakava kerros) päästöt olivat negatiiviset ja päästövähennys kalliomurskeen käyttöön verrattuna oli penkereen osalta jopa yli 300 %. Tämä on niin suuri päästövähennys, että laskentaesimerkin toteutusskenaariossa 3 (kantava maapohja, ei pohjanvahvistuksia) esimerkkikohteen rakentamisen kokonaishiilidioksidipäästötkin muuttuvat negatiiviseksi. Betonimursketta käytetään suuria määriä erityisesti laskentaesimerkkikohteen pengertäytössä, joten tämän betonimurskemäärän laskettu hiilensidonta ylittää penkereen rakentamisesta aiheutuvat muut hiilidioksidipäästöt reilusti. Laskentaesimerkissä käytetyt arvot betonimurskeen kyvystä sitoa

hiilidioksidia murskauksen jälkeisen varastoinnin aikana kuvaavat teoreettista maksimaalista hiilensidontaa. Erilaisilla parametreilla hiilensidontakyvyn suuruudesta tuloksetkin olisivat erilaiset.

Päästölaskentaesimerkissä sekä betonimurskeen (rajausvaihtoehdot BeM A, B ja D) että kiviaineksen kuljetusmatkaksi oletettiin 20 km (täysi menokuorma, tyhjä paluukuorma). Vaikka kuljetusmatka on melko lyhyt, suurista materiaalmääristä johtuen kuljetukset muodostavat merkittävän osan hiilidioksidipäästöistä (kuva 11). Kuljetusmatkojen ollessa 20 km kuljetusmatkat muodostavat betonimurskepenkereen hiilidioksidipäästöistä 66 %, murskaus 30 % ja asennus työmaalla vain 4 %. Mikäli kuljetusmatkat olisivat pidemmät, murskauksen ja asennuksen osuus päästöistä olisi pienempi ja vastaavasti lyhyemmillä kuljetusmatkoilla murskauksen ja asennuksen osuus päästöistä kasvaisi. Tässä esimerkissä kalliomurskeen ja betonimurskeen kuljetusmatkat oletettiin yhtä pitkiksi. Eri pituiset kuljetusmatkat vaikuttaisivat kalliomurskeesta ja betonimurskeesta rakennettavien rakennneosien päästöeroon. Mikäli betonimursketta jouduttaisiin kuljettamaan kauempaa, sen käytöstä saatava päästövähennys kalliomurskeen käyttöön verrattuna olisi pienempi, ja jos taas kalliomurskeen kuljetusmatkat olisivat betonimurskeen kuljetusmatkoja pidemmät, betonimurskeen käytöstä kalliomurskeen korvaajana saatava päästövähennys olisi suurempi.

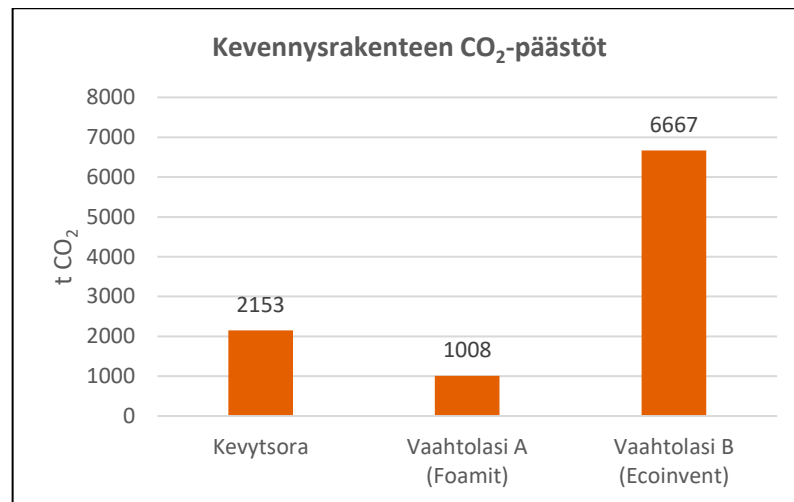


*Kuva 11. Betonimurskepenkereen CO<sub>2</sub>-päästöjen muodostuminen (rajausvaihtoehto BeM A, jossa huomioitu murskaus, kuljetukset ja asennus), kun kuljetusmatka on 20 km.*

#### 6.2.4 Kevennysrakenne kevytsorasta tai vaahtolasimurskeesta

Päästölaskentaesimerkin skenaarioon 2 kuului kevennysrakenne, jonka vaihtoehtoisia materiaaleja olivat kevytsora (perinteinen materiaali) ja vaahtolasimurske. Päästölaskennassa vaahtolasimurskekevennyksen CO<sub>2</sub>-päästöt laskettiin kahdella eri lähteistä peräisin olevalla vaahtolasimurskeen valmistuksen päästökertoimella, koska nämä kertoimet olivat suuruudeltaan hyvin erilaiset.

Päästölaskentaesimerkin tulosten mukaan vaahtolasimurskekevennyksen CO<sub>2</sub>-päästöt ovat hyvin eri suuruiset riippuen siitä, kumman lähteen päästökerrointa käytettiin (kuva 12). Vaihtoehdossa A (FOAMIT®-vaahtolasimurskeen päästötiedot) vaahtolasimurskeesta valmistetun kevennysrakenteen päästöt olivat 1008 t CO<sub>2</sub> eli 53 % pienemmät kuin käytettäessä kevennysrakenteessa perinteistä materiaalia eli kevytsoraa. Vaihtoehdon B (Ecoinventin tietoihin perustuvat laskelmat) mukaan puolestaan vaahtolasimurskekevennyksen päästöt olivat kolminkertaiset kevytsorakevennyksen päästöihin verrattuna. Tuloksista voidaan todeta, että materiaalien päästötiedot voivat vaihdella lähteestä riippuen huomattavasti, millä on suuri vaikutus päästölaskennan tuloksiin.



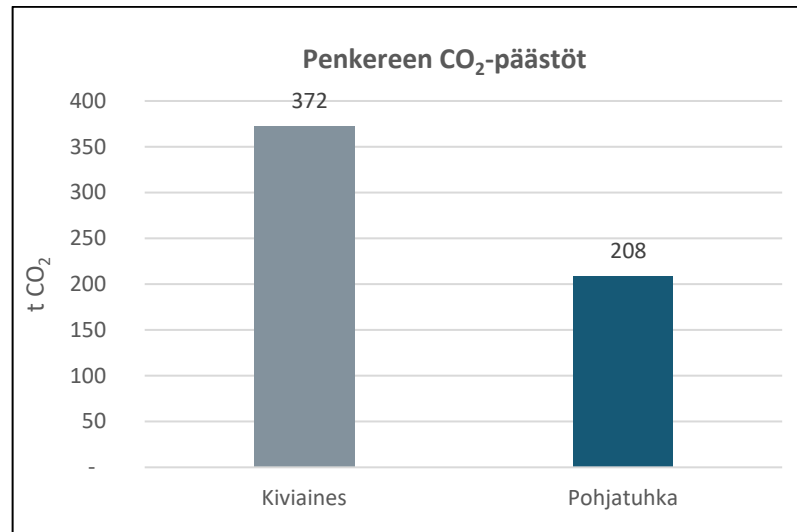
Kuva 12. Kevennysrakenteen CO<sub>2</sub>-päästöt, materiaalivevaihtoehtoina kevytsora ja vaahtolasimurske. Vaihtoehdoissa A ja B vaahtolasimurskeen hiilidioksidipäästöjen tiedot ovat eri lähteistä.

## 6.2.5 Pohjatuhka kiviaineksen korvaajana penkereessä

Päästölaskentaesimerkin skenaarioissa 1 ja 3 pohjatuhka on betonimurskeen lisäksi toinen mahdollinen kalliomurskeen korvaava uusiomateriaali penkereessä. Koska pohjatuhkan valmistukselle tai prosessoinnille ei allokoitu laskentaesimerkissä lainkaan päästöjä, pohjatuhkasta rakennetun penkereen hiilidioksidipäästöt muodostuvat ainoastaan kuljetuksista sekä työmaalla materiaalin asennusvaiheessa (levitys ja tasoitus, muotoilu ja tiivistys) käytettävistä työkoneista. Koska laskentaesimerkissä kiviaineksen ja pohjatuhkan kuljetusmatkat oletetaan yhtä pitkiksi ja asennuksen työvaiheet samanlaisiksi, pohjatuhkan käytöstä kiviaineksen korvaajana syntyvä säästö hiilidioksidipäästöissä on yhtä suuri kuin korvattavan kiviaineksen valmistuksen hiilidioksidipäästöt. Laskentaesimerkin tapauksessa pohjatuhkan käyttö kiviaineksen korvaajana aikaansai 44 % päästövähennyksen penkereen rakentamisen päästöistä (kuva 13).

Pohjatuhkan käytöstä aiheutuva suhteellinen päästövähennys koko esimerkkikohteen rakentamisen CO<sub>2</sub>-päästöistä riippuu siitä, kuinka suuren osuuden penger muodostaa kokonaispäästöistä (kappale 6.2.1). Skenaariossa 1 pilaristabilointi muodostaa valtaosan hankkeen kokonaispäästöistä, minkä vuoksi penkereen osuus kokonaispäästöistä on pieni, joten tässä skenaariossa kiviaineksen korvaaminen pohjatuhkalla vähentää hankkeen kokonaispäästöjä

vain 3 %. Skenaariossa 3 penger muodostaa hankkeen kokonaispäästöistä huomattavasti suuremman osan (63 %), joten pohjatuhkan käytön aikaansaama päästövähennys on jopa 28 % hankkeen kokonaispäästöistä kiviaineksen käyttöön verrattuna. Pohjatuhkapenkereen päästöistä kuljetukset muodostivat 83 % (kuljetusmatka 20km) ja asennuksen päästöt 17 %. Se, miten kaukaa pohjatuhka tuodaan, vaikuttaa siis oleellisesti pohjatuhkapenkereen päästöihin.



Kuva 13. Penkereen CO<sub>2</sub>-päästöt skenaarioissa 1 (pilaristabilointi) ja 3 (kantava maapohja, ei pohjanvahvistuksia), materiaaliveikotoina kiviaines ja pohjatuhka.

## 6.2.6 Suurin laskennallinen päästövähennys

Diplomityön päästölaskentaesimerkissä tarkasteltiin, miten perinteisten materiaalien korvaaminen uusiomateriaaleilla vaikuttaa esimerkikokohteen hiilidioksidipäästöihin. Esimerkkikohteessa oli uusiomateriaaleja neljässä rakenneosassa: pilaristabiloinnissa, kevennysrakenne, penkereessä ja jakavassa kerroksessa. Joillekin uusiomateriaaleille oli vaihtoehtoisia määriä (lentotuhka), vaihtoehtoisia lähtötietoja (vaahtolasimurske) tai vaihtoehtoisia rajoituksia huomioon otettavissa uusiomateriaalin elinkaaren vaiheissa (betonimurske). Taulukkoon 12 on koottu ne materiaalivalinnat ja vaihtoehdot, joilla laskettuna esimerkikokohteen hiilidioksidipäästöt olivat kaikkein pienimmät.

Taulukko 12. Materiaalivaihtoehto, jolla saatiin suurin laskennallinen päästövähennys esimerkikokohteen eri rakenneosissa.

Rakenneosa	Suurin laskennallinen päästövähennys
Pilaristabilointi	Lentotuhka (15%)
Kevennys	Vaahtolasimurske (A)
Penger	Betonimurske (BeM D)
Jakava kerros	Betonimurske (BeM D)

Kun lasketaan hankkeen kokonaispäästöt eri toteutusskenaarioille (skenaariot 1, 2 ja 3) siten, että jokaiseen rakenneosaan valitaan suurimman päästövähennyksen aikaansaava materiaali ja vaihtoehto, skenaarion 1 kokonaispäästöt ovat 34 % pienemmät verrattuna vaihtoehtoon, jossa käytetään vain perinteisiä materiaaleja (taulukko 13). Skenaariossa 2 kokonaispäästöt ovat vähäpäästöisimmillä materiaalivaihtoehdoilla 42 % pienemmät kuin perinteisessä vaihtoehdossa. Skenaariossa 3 päästövähennys on jopa 227 %, kun penkereessä ja jakavassa kerroksessa käytetään betonimursketta, ja sen hiilensidonta huomioidaan (kappale 6.2.3).

*Taulukko 13. Päästölaskennassa tarkastellun esimerkkikohteen kokonaishiilidioksidipäästöt (t CO<sub>2</sub>) skenaarioissa 1 (pilaristabilointi), 2 (pilaristabilointi + kevennys) ja 3 (ei pohjanvahvistuksia), kun materiaaleina on vain perinteisiä materiaaleja ja kun materiaalit on valittu pienimpien päästöjen perusteella.*

	<b>Vain perinteisiä materiaaleja</b>	<b>Vähäpäästöisimmät materiaalit</b>	<b>Päästövähennys (%)</b>
Skenaario 1	5 615	3 687	34
Skenaario 2	5 324	3 081	42
Skenaario 3	589	- 750	227

## 7 Johtopäätökset ja yhteenveto

Ympäristöasioiden huomioiminen, kuten päästöjen vähentäminen ja luonnonvarojen kestävä käyttö, ovat entistä tärkeämpiä teemoja myös infra-alalla. Lisääntyvä uusiomateriaalien käyttö perinteisten materiaalien korvaajana on yksi keino materiaalitehokkuuden edistämiseen infrarakennuskohteissa. Tässä diplomityössä pyrittiin selvittämään, mitkä indikaattorit ovat tärkeimpiä infrarakentamisen ympäristökestävyysarvioinnissa. Lisäksi työssä tarkasteltiin, miten uusiomateriaalien käyttö vaikuttaa tiehankkeen rakentamisvaiheen CO<sub>2</sub>-päästöihin ja miten se, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet otetaan huomioon päästölaskennassa, vaikuttaa päästölaskennan tuloksiin. Näihin kysymyksiin vastaamiseksi diplomityössä haastateltiin asiantuntijoita sekä tehtiin päästölaskentaa esimerkkikohteelle.

### 7.1 Infrarakentamisen päästölaskenta ja ympäristökestävyysindikaattorit

Tulevaisuudessa päästölaskenta tulee todennäköisesti yleistymään infrarakentamisessa ja päästölaskennasta tulee entistä kiinteämpi osa hankesuunnittelua sekä infrarakentamisen ympäristökestävyysarviointia. Kuten diplomityön haastatteluissa nousi esiin, päästötavoitteiden hyödyntäminen suunnittelun ohjauksessa ja kilpailutuksessa tulee todennäköisesti yleistymään. Erityisesti kasvihuonekaasupäästöjen huomioiminen on jo nyt ajankohtaista, ja tulevaisuudessa tullaan entistä enemmän kiinnittämään huomiota siihen, miten kasvihuonekaasupäästöjä voitaisiin vähentää myös infrarakentamisessa. Ilmastomuutos on tällä hetkellä merkittävä ihmiskuntaan kohdistuva uhka ja sen hillitsemiseksi tarvitaan nopeita ja välittömiä päästövähennyksiä. Diplomityössä tehtyjen asiantuntijahaastattelujen perusteella kasvihuonekaasupäästöjä kuvaavat indikaattorit ovat infrahankkeiden ympäristökestävyysindikaattoreista tällä hetkellä kaikkein tärkeimpiä ja ainakin kasvihuonekaasupäästöjen päästölaskenta tulisi saada osaksi infrarakentamista, vähintään kaikkia keskisuuria ja suuria hankkeita.

Päästölaskentaa olisi hyvä tehdä jo hankkeiden suunnittelun alkuvaiheessa, sillä päästölaskennalla voidaan vertailla eri toteutusvaihtoehtojen päästöjä ja tarkastella, mistä tekijöistä päästöt muodostuvat. Esimerkiksi tierakentamisessa tien linjauksella voidaan vaikuttaa rakentamisvaiheen päästöihin: mm. pohjanvahvistusten, siltojen ja tunneleiden rakentamisesta aiheutuu paljon päästöjä, ja näiden rakenteiden tarvittavuus ratkaistaan jo yleissuunnitteluvaiheessa. Toisaalta tien linjauksella voidaan vaikuttaa myös tien käytön aikaisiin liikenteen päästöihin.

Vaikka infrarakentamisen päästölaskennassa pääasiallinen huomio kiinnittyy pitkälti kasvihuonekaasupäästöihin, ei muitakaan päästöjä ja ympäristövaikutuksia tule unohtaa. Infrarakentamisen kestävyysarviointiin on valmisteilla laskentamenetelmästandardi *Sustainability of construction works - Sustainability assesment of civil engineering works - Calculation method*. Uusi standardi tulee todennäköisesti talonrakennus- ja tuotepuolen vastaavien standardien EN 15978 ja EN 15804 tavoin sisältämään listan ympäristökestävyyden indikaattoreista, jotka tulee sisällyttää standardin mukaiseen kestävyysarviointiin. Tiehankkeiden kestävyysarvioimiseen on olemassa myös CEN-työryhmän suositus *CWA 17089:2016 Indicators for the sustainability assessment of roads*, josta ei diplomityön asiantuntijahaastattelujen perusteella olla Suomessa toistaiseksi kovin tietoisia.

Kasvihuonekaasupäästöjen ohella erityisesti infrarakentamisen resurssi- ja materiaalitehokkuutta kuvaavia indikaattoreita pidettiin tärkeinä diplomityössä haastateltujen asiantuntijoiden keskuudessa. Materiaalitehokkuuden indikaattoreita olisi siis hyvä käyttää infrahankkeiden ympäristökestävyysarvioinnissa. Materiaalitehokkuuden edistäminen on usein myös yhteydessä kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusten vähentämiseen.

Ilmastonmuutos on globaali ongelma, ja kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus ilmastonmuutokseen ei ole riippuvainen siitä, missä päästöt syntyvät. Monien muiden ympäristövaikutusten kohdalla päästöjen alueellisella sijainnilla on kuitenkin merkitystä. Esimerkiksi se, miten suuri on rehevöitymistä ja happamoitumista aiheuttavien päästöjen todellinen ympäristövaikutus, riippuu hyvin paljon siitä, millainen päästön vastaanottava ympäristö on. Alueellisia ympäristövaikutuksia aiheuttavien päästöjen suuruutta arvioitaessa on tärkeää pohdita, missä päästöt tapahtuvat. Tavanomaisessa päästölaskennassa, esimerkiksi tässä diplomityössä tehdyssä päästölaskentaesimerkissä, päästöjä ei erotella sen mukaan, missä päästöt syntyvät. Näin ollen esimerkiksi tiehankkeen rakentamisvaiheen päästölaskennasta saatu geneerinen tieto jonkin päästön suuruudesta ei pelkästään riitä, jos halutaan arvioida, millaisia alueellisia vaikutuksia kyseisellä päästöllä voi todellisuudessa olla. Pölypäästöt ovat yksi esimerkki päästöstä, jonka syntypaikka vaikuttaa päästöstä aiheutuvan haitan suuruuteen. Jos esimerkiksi rakennustyömaalla murskataan betonia, vaikutukset pölynhallinnan epäonnistuksessa ovat erilaiset, jos työmaa sijaitsee asuinalueen keskellä kuin jos se sijaitsee syrjäseudulla kaukana asutuksesta. Päästölaskennan lisäksi ympäristövaikutusten paikkakohtaisuutta tulee siis arvioida muilla menetelmillä, kuten ympäristövaikutusten arvioinnissa (YVA) sekä ympäristölupamenettelyssä.

## ***7.2 Uusiomateriaalien huomioiminen päästölaskennassa ja päästölaskennan epävarmuudet***

Diplomityössä tehdyn laskentaesimerkin perusteella uusiomateriaalien käytöllä voidaan vähentää infrahankkeen rakennusvaiheen CO<sub>2</sub>-päästöjä. Se, mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet otetaan huomioon päästölaskennassa, voi kuitenkin vaikuttaa merkittävästi päästölaskennan tuloksiin, kuten huomattiin laskentaesimerkissä betonimurskeelle tehdyssä tarkastelussa. Jos uusiomateriaalin valmistukselle ja prosessoinnille ei allokoida rakennusvaiheen päästölaskennassa lainkaan päästöjä (ts. ne allokoidaan edellisen prosessin päästöihin) eli uusiomateriaali lasketaan valmistuksen osalta nollapäästöiseksi, on selvää, että päästölaskennan mukaan käyttämällä uusiomateriaalia perinteisen materiaalin korvaajana saadaan aikaan päästövähennyksiä, ainakin jos uusiomateriaalin kuljetusmatkat ovat samat tai lyhyemmät perinteiseen materiaaliin verrattuna. Se, miten uusiomateriaalit rajataan päästölaskennassa, ei tietenkään muuta todellisia syntyviä päästöjä.

Tehtäessä varsinaista elinkaariarviointia, ympäristövaikutusten arvioinnin tulisi kattaa tarkastelun kohteen koko elinkaari käytöstä poistamiseen (End-of-Life) asti. Rakennushankkeiden tapauksessa End-of-Life -skenaariot sijoittuvat kuitenkin yleensä kauas tulevaisuuteen, joten skenaariot perustuvat oletuksiin eivätkä voi sisältää kovin yksityiskohtaisia tietoja esimerkiksi purkumateriaalien käsittelystä aiheutuvista päästöistä. Tämän vuoksi uusiomateriaalien prosessoinnin päästöjen allokoiminen osaksi edellisen elinkaaren päästöjä (eli osaksi sen prosessin End-of-Life -vaihetta, josta uusiomateriaali on peräisin) voi tarkoittaa



sitä, ettei uusiomateriaalin prosessoinnin päästöjä huomioida käytännössä missään vaiheessa. Jos uusiomateriaalien prosessoinnin päästöt huomioitaisiin päästölaskennassa vasta siinä vaiheessa, kun niitä todellisuudessa käytetään uusiomateriaalina, saataisiin todenmukaisempi kuva uusiomateriaalien prosessoinnin päästöistä. Mikäli siitä, mitkä uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet tulee ottaa päästölaskennassa huomioon, ei ole riittävän selkeää ja yksiselitteistä ohjetta, on mahdollista, että päästölaskentaa varten uusiomateriaalien elinkaaresta poimitaan vain sellaiset vaiheet, että päästölaskennan tulos saadaan halutun kaltaiseksi ja päästölaskennan tilaajan tarkoituksiin sopivaksi.

End-of-Waste -statusta käytetään standardeissa EN 15978 ja EN 15804 rajanvetokohtana uusiomateriaalien elinkaarien välillä (luku 4). End-of-Waste -käsite on kuitenkin monimutkainen ja toistaiseksi virallisen End-of-Waste statuksen saaneita uusiomateriaaleja ei ainkaan suomalaisessa infrarakentamisessa ole juurikaan käytössä lukuun ottamatta lasimursketta, josta valmistetaan infrarakentamisessa käytettävää vaahtolasimursketta. Uusiomateriaalien tuotteistaminen on nousussa ja tulevaisuudessa mahdollisesti useammilla uusiomateriaaleilla on virallinen End-of-Waste -status. Jos End-of-Waste -tilaa käytetään rajapyykkiä uusiomateriaalin elinkaarten välillä siten, että End-of-Waste tilan saavuttamiseksi tarvittava prosessointi katsotaan kuuluvaksi edelliselle elinkaarelle, voi aiheutua yllä mainitun kaltainen tilanne, jossa uusiomateriaalin prosessoinnin päästöjä ei käytännössä huomioida päästölaskennassa lainkaan. Mikäli uusiomateriaalin prosessointi on kevyttä eikä sisällä esimerkiksi paljon energiaa vaativia toimenpiteitä, ei prosessoinnin huomiotta jättämisellä ole suurta vaikutusta päästölaskennan tuloksiin. Diplomityön laskentaesimerkissä betonimurskeen murskauksen huomiotta jättäminen vähensi kyseisen rakenneosan CO<sub>2</sub>-päästöjä noin 26 prosenttiyksikköä. Uusiomateriaalien prosessoinnin päästötietoja saattaa olla myös hankala saada, ellei uusiomateriaalia ole tuotteistettu ja ellei uusiomateriaalille ole laadittu hiilijalanjälkilaskelmaa tai ympäristöselostetta.

Betonimurskeen päästölaskennan osalta merkittävä kysymys on myös se, miten betonimurskeen kyky sitoa hiilidioksidia otetaan huomioon päästölaskennassa ja minkälaisia oletuksia voidaan tehdä betonimurskeeseen sitoutuvan hiilidioksidin määrästä. Diplomityön päästölaskentaesimerkin perusteella infrahanke voi näyttäytyä jopa hiilidioksidineluna, jos betonimurskeen hiilensidonta otetaan huomioon päästölaskennassa. Diplomityön laskentaesimerkissä käytetyt arvot betonimurskeeseen sitoutuvan hiilidioksidin määristä olivat hyvin optimistisia ja perustuivat vain yhteen tietolähteeseen. Erilaisilla arvoilla betonimurskeen hiilensidontakyvystä oltaisiin saatu erilaisia tuloksia. Betonimurskeen teoreettisen ja todellisen hiilensidonnan suhteesta olisi tarpeen tehdä lisätutkimuksia.

Päästölaskennassa pyritään välttämään päästöjen kaksoislaskentaa, joten samalla logiikalla myös päästövähennykset tulisi huomioida päästölaskennassa vain kerran. Jos siis esimerkiksi betonin kyky sitoa hiilidioksidia betonirakenteena (ennen murskausta) otetaan huomioon silloin, kun lasketaan betonin alkuperäisen käyttökohteen päästöjä, ei betonirakenteessa tapahtunutta hiilensidontaa tulisi huomioida enää toistamiseen laskettaessa uusiomateriaalistatuksella olevan betonimurskeen päästöjä käyttökohteessaan.

Kuljetusmatkat ovat suurten materiaalmäärien takia merkittävässä roolissa infrarakentamisen päästöjen muodostajana, joten kuljetusmatkojen pituus vaikuttaa merkittävästi päästölaskennan tuloksiin. Kuljetusmatkoja optimoimalla voidaan vähentää päästöjä ja samalla

myös säästetään kustannuksissa. Kuljetusmatkojen pituus vaikuttaa myös siihen, miten paljon päästövähennyksiä uusiomateriaalien käytöllä voidaan saavuttaa. Sekä päästöjen että kuljetuskustannusten kannalta kannattavampaa käyttää läheltä saatavia uusiomateriaaleja.

Diplomityön laskentaesimerkissä huomattiin, että materiaalikohtaisten päästötietojen saatavuudessa voi olla haasteita ja eri lähteistä saatavissa päästökertoimissa voi olla suuriakin eroja. Laskentaesimerkissä vaahtolasimurskeen osalta eri lähteistä peräisin olevilla materiaalin valmistuksen päästötiedoilla saatiin hyvin erilaisia tuloksia: toisen lähteen tiedoilla laskettuna vaahtolasimurskeen käyttö kevytsoran korvaajana vähensi kevennysrakenteen päästöjä, toisen lähteen päästötiedoilla laskettuna puolestaan vaahtolasimurskekevennyksen päästöt olivat moninkertaiset kevytsorakevennykseen verrattuna. Kuten asiantuntijahaastatteluissakin mainittiin, mahdollisimman todenmukaisten tulosten saamiseksi päästölaskennassa tulisi käyttää paikallisiin olosuhteisiin sopivia päästötietoja eli esimerkiksi Suomessa valmistettujen materiaalien valmistuksen päästötietoja. Esimerkiksi valmistuksessa käytetyn energian alkuperä vaikuttaa oleellisesti päästöihin. Paikallisiin olosuhteisiin sopivia päästötietoja ei kuitenkaan aina ole saatavilla, jolloin on turvauduttava kansainvälisistä tietokannoista saatavaan tietoon. Kuten diplomityön asiantuntijahaastatteluissakin ehdotettiin, yhteisesti hyväksytyn tietokannan luominen suomalaisessa infrarakentamisessa käytettävien materiaalien päästökertoimista helpottaisi päästölaskentaa ja yhdenmukaistaisi päästölaskennassa käytettäviä lähtötietoja.

Maarakentamisessa on materiaalien valmistuksen ja kuljetuksen lisäksi useita työmaalla tapahtuvia työvaiheita, kuten materiaalien levitystä, muotoilua ja tiivistystä, joihin käytetään työkoneita ja jotka siksi aiheuttavat päästöjä työkoneiden kuluttaessa polttoainetta. Rambollin (2017) tekemässä infrarakentamisen päästölaskentatyökalujen vertailussa havaittiin, että näitä työvaiheita huomioitiin eri laskennoissa hyvin eri tarkkuuksilla tai ne jätettiin jopa kokonaan huomiotta. Diplomityön laskentaesimerkin tulosten perusteella materiaalien asennuksen päästöt ovat kuljetusten päästöihin verrattuna pienet. Kuitenkin etenkin tilanteessa, jossa uusiomateriaalin valmistus allokoidaan nollapäästöiseksi, materiaalin asennuksen osuus korostuu rakenneosan päästöjen muodostajana.

### **7.3 Suositukset ja jatkotutkimustarpeet**

Infrarakentamisen elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointiin ei ole toistaiseksi ollut virallista EN-standardia, mutta sellainen on parhaillaan valmisteilla. Valmistuva standardi tulee toivottavasti yhtenäistämään infra-alan päästölaskentaa. Standardit kuitenkin jättävät yleensä tulkinnanvaraa, kuten huomattiin talonrakennus- ja tuotepuolen standardien osalta diplomityön kirjallisuusosion luvussa 4. Standardien soveltamisesta on mahdollista tehdä monenlaisia tulkintoja, esimerkiksi siitä, mitkä uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet tulisi ottaa tarkastelussa huomioon. Erilaiset tulkinnat voivat vaikuttaa päästölaskennan tuloksiin.

Standardien noudattaminen on hyvä alku kohti läpinäkyvää, puolueetonta ja vertailukelpoista päästölaskentaa, mutta standardien lisäksi tarvittaisiin myös kansallinen ohjeistus siitä, miten standardeja tulee Suomen oloissa käytännössä soveltaa. Tämän diplomityön perusteella tarkempi ohjeistus olisi tarpeen ainakin seuraavista asioista:

*Mitkä uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet päästölaskennassa tulee huomioida?*

- Olemassa olevien kestävän rakentamisen standardien mukainen End-of-Waste -tilaan perustuva ohje uusiomateriaaleja tuottavan ja niitä käyttävän systeemin välisestä rajanvedosta on tulkinnanvarainen erityisesti silloin, jos materiaalilla ei ole virallista End-of-Waste -statusta.

*Miten betonimurskeen hiilensidontakyky huomioidaan päästölaskennassa?*

- Kuuluuko betonin kyky sitoa hiilidioksidia ottaa huomioon päästölaskennassa?
- Missä vaiheissa (betonirakenteena, murskauksen jälkeisen varastoinnin aikana, murskeena rakenteeseen haudattuna) tapahtuva hiilensidonta huomioidaan ja miten suureksi hiilensidonta voidaan olettaa?

*Mitä tietolähteitä päästölaskennassa tulee käyttää?*

- Käytetäänkö tuotekohtaisia päästötietoja vai materiaalikohtaisia tietoja tietokannoista?
- Mitä tehdään, jos päästötietoja ei ole saatavilla?

*Mitkä kaikki työmaatoiminnot päästölaskennassa tulisi ottaa huomioon?*

- Mitkä kaikki rakennustyömaalla tapahtuvat työvaiheet tulee ottaa huomioon päästölaskennassa?

Lisätiedon saamiseksi siitä, miten erilaiset uusiomateriaalien rajausvaihtoehdot tai erilaiset tietolähteet vaikuttavat päästölaskennan tuloksiin, jatkotutkimuksissa voitaisiin tehdä esimerkiksi useampien uusiomateriaalien vertailua tai päästölaskentaa useammille kuvitteellisille tai todellisille kohteille. Vertailtaessa uusiomateriaalien päästöjä perinteisiin materiaaleihin, uusiomateriaalien vertailukohteena olisi hyvä käyttää useita erilaisia vaihtoehtoisia perinteisiä materiaaleja.

## Lähdeluettelo

- Allegrini, E., Butera, S., Kosson, D.S., Van Zomeren, A., Van der Sloot, H.A., Astrup, T.F. (2015). Life cycle assessment and residue leaching: The importance of parameter, scenario and leaching data selection. *Waste Management*. 38(1), 474–485.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.018>
- Andersson, R., Fridh, K., Strippel, H., Häglund, M. (2013). Calculating CO<sub>2</sub> uptake for existing concrete structures during and after service life. *Environ. Sci. Technol.* 47(20), 11625–11633. <https://doi.org/10.1021/es401775w>.
- Aulakoski, A., Montin, P. and Lydman, P. (2014). Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2014. ISBN 978-952-255-443-7.
- Balaguera, A., Carvajal, G. I., Albertí, J., Fullana-i-Palmer, P. (2018). Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.003>
- Belt, J., Lämsä, V.P., Savolainen, M. Ehrola, E. (2002). Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002.
- Betoniteollisuus ry. (N.D.) Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>. [Viitattu 17.10.2018]
- Bionova Oy. (2017) Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Saatavilla: [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Vahahiilinen\\_rakentaminen/Tiekartta\\_rakennuksen\\_elinkaaren\\_hiilijalanjaljen\\_huomioimiseksi](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi). [Viitattu 22.8.2018]
- Celauro, C., Corriere, F., Guerrieri, M., Lo Casto, B. (2015). Environmentally appraising different pavement and construction scenarios: A comparative analysis for a typical local road. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 41–51.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.001>
- Collins, F. (2010). Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: Influence on their carbon footprint. *Int. J. Life Cycle Assess.* 15, 549–556.  
<https://doi.org/10.1007/s11367-010-0191-4>.
- CEN. (2016). CWA 17089:2016 Indicators for the sustainability assessment of roads. CEN Workshop Agreement.
- CEN. (2018). CEN/TC 350 Published Standards. Verkkojulkaisu. Saatavilla: [https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:32:0:::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_LANG\\_ID:481830,25&cs=117375B165644AAC954DDC63B921F43EF](https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:32:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:481830,25&cs=117375B165644AAC954DDC63B921F43EF). [Viitattu 22.8.2018]
- Dettenborn, T. (2013). Betonimurskerakenteiden pitkäaikaistoimivuus. Diplomityö, Aalto-yliopisto, Rakennustekniikka, Pohjarakennus ja maamekaniikka, Espoo, 110 s. + liitt.

Ecoinvent. (2018a). Foam glass production. GLO, APOS. Saatavilla: <https://www.ecoinvent.org/>. [Viitattu 9.10.2018]

Ecoinvent. (2018b). Market for expanded clay. GLO, APOS. Saatavilla: <https://www.ecoinvent.org/>. [Viitattu 9.10.2018]

Energiavirasto. (2018). Toimialakohtaiset päästötiedot 2013-2017. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/documents/10191/0/Toimialakohtaiset+p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6tiedot+2013-2017.xlsx/27c5545e-9bab-4027-83ed-f00d0051c9ff>. [Viitattu 22.11.2018]

Engelsen, C.J., Sæther, D.H., Mehus, J. Pade, C. (2005). Carbon dioxide uptake in demolished and crushed concrete: CO<sub>2</sub> uptake during the concrete life cycle. Nordic Innovation Centre Project 03018. ISBN 82-536-0900-0.

Eskola, P., Mroueh, U.-M., Juvankoski, M., Ruotoistenmäki, A. (1999). Maarakentamisen elinkaariarviointi. VTT Tiedotteita 1961.

Eskola P, Nousiainen A, Antila R, Mutanen E, Kotilainen K. (2008). Tienrakennuksen ekotehokkuuden parantaminen. 2008. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 39/2008.

Finnsementti. (N.D.). Suomalainen sementti. 52 s. Saatavilla: [http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS\\_Suomalainen\\_sementti\\_kirjanen\\_071112.pdf](http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS_Suomalainen_sementti_kirjanen_071112.pdf). [Viitattu 7.11.2018]

Forsman, J. (2018). Katurakentamisessa huomioon otettavat erityistekijät. UKI II GEO-EV Kiertotalous infrarakentamisessa -kurssin luento 26.10.2018.

Green Building Council Finland. (2018). Elinkaaren hiilijalanjälki. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <http://figbc.fi/elinkaarimittarit/laskentaohjeet/elinkaaren-hiilijalanjalki/>. [Viitattu 16.8.2018]

Hagström, M., Illman, J., Pesola, A., Vanhanen, J., Gilbert, Y. (2011). Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011. ISBN 978-952-255-701-8.

Helsingin kaupunki. (2018). Esitys Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelmaksi. Helsingin kaupungin keskushallinnon julkaisuja 2018:4. Saatavilla: <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/HNH-2035-toimenpideohjelma.pdf>. [Viitattu 7.11.2018]

Inkeröinen, J., & Alasaarela, E. (toim.) (2010). Uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa. Ympäristöministeriön Raportteja 13/2010. ISBN 978-952-11-3761-7.

ISO 14040. (2006). Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaarianalyysi. Periaatteet ja pääpiirteet.

Jätelaki 646/2011. (2011) Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>. [Viitattu 7.11.2018]

Kaartinen, T., Laine-Ylijoki, J., Koivuhuhta, A., Korhonen, T., Luukkanen, S., Mörsky, P., ... Wahlström, M. (2010). Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi. VTT Tiedotteita, 2567. ISBN 978-951-38-7680-7.

Kalantar, Z. N., Karim, M. R., Mahrez, A. (2012). A review of using waste and virgin polymer in pavement. *Construction and Building Materials*, 33, 55–62.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.009>

Kauppila, J., Turunen, T., Häkkinen, E., Salminen, J., Lazarevic, D. (2018). Jätteen luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9/2018. ISBN 978-952-11-4786-9.

Kilpinen, S. (2008). EIMI -indikaattorijärjestelmän käyttö tiehankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa Tapaus Kaarinan läntinen ohikulkutie. Tiehallinnon selvityksiä 24/2008. ISBN 978-952-221-101-9.

Kiviniemi, O., Sikiö, J., Jyrävä, H., Ollila, S., Autiola, M., Ronkainen, M., ... Forsman, J. (2012). Tuhkarakentamisen käsikirja. Energiantuotannon tuhkat väylä-, kenttä- ja maarakenteissa. Saatavilla: [http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf). [Viitattu 7.11.2018]

Koivisto, K., Forsman, J. Vaajasaari, K. (2016). UUMA 2. Uusiomateriaalien tuotteistamisohje maarakentamiseen. 75 s.

Korkiala-Tanttu, L., Eskola, P., Häkkinen, T., Hiltunen, M. R., Tuominen, A. (2006). Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit; ehdotus arviointijärjestelmäksi. Tiehallinnon selvityksiä 22/2006. ISBN 951-803-712-4.

Korkiala-Tanttu, L. (2018). Maa- ja pohjarakennustekniikka. Luentomateriaali: YYT-C2003 Georakentaminen ja kaivannaistuotanto, Aalto-yliopisto.

Kuittinen, M. (2015). Does the use of recycled concrete lower the carbon footprint in humanitarian construction? *Int. J. Disaster Resil. Built Environ.* 6, 73–85.  
<https://doi.org/10.1108/IJDRBE-06-2012-0019>.

Köylijärvi, E. (2014). Vaahtolasimurskeen käyttö maa- ja pohjarakentamisessa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 14/2014, Liikennevirasto, väylätekniikkaosasto, Helsinki, 90 s + liitt. 25 s. ISBN 978-952-255-432-1.

Laine-Ylijoki, J., Mroueh, U.M., Vahanne, P., Wahlström, M., Vestola, E., Salonen, S. and Havukainen, J. (2005). Yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn kuonista ja tuhista hyödykettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita. Kansainvälinen esiselvitys. VTT Tiedotteita, 2291. 83 s. ISBN 951-38-6547-9.

Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 503/2005. (2005) Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503>. [Viitattu 7.11.2018]

- Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017. (2017) Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170252>. [Viitattu 7.11.2018]
- Leca Finland Oy (2017). RTS EPD, nro 7 VAHEPD-2015-107 Leca® sora. Saatavilla: <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/53506.pdf>. [Viitattu 6.9.2018]
- Liikennevirasto. (2010a). Tiesuunnittelun kulku. Saatavilla: [https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/34253/tiesuunnittelun+kulku\\_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdfa763-32f41c7334e4](https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/34253/tiesuunnittelun+kulku_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdfa763-32f41c7334e4). [Viitattu 27.6.2018]
- Liikennevirasto. (2010b). Tiesuunnitelma, toimintaohjeet. Tiesuunnittelun toimintajärjestelmä. Liikenneviraston ohjeita 20/2010. ISBN 978-952-255-571-7.
- Liikennevirasto. (2014a). Tien perustamistavan valinta. Tiegeotekniikan käsikirja. Liikenneviraston oppaita 2/2014. ISBN 978-952-255-411-6.
- Liikennevirasto. (2014b). Uusiomateriaaliopas, Uusiomateriaalien käytön kehittäminen UUMA2-ohjelman väylähankkeilla, Luonnos 28.2.2014. Helsinki: Liikennevirasto. 51s.
- Liikennevirasto. (2015). Tien kunnan arviointi. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <https://www.liikennevirasto.fi/tieverkko/kunnossapito/tien-kunnan-arviointi#.Wz3t07iU9aQ>. [Viitattu 5.7.2018]
- Liikennevirasto. (2018). Syvästabiloinnin suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 17/2018. ISBN 978-952-255-030-9.
- Linden, T. (2017). Betonimurskeen käyttö raitiotierakentamisessa. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka. 110s. + 6 liit.
- Lonka, H. & Loukola-Ruskeeniemi, K. (toim.). (2015). Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. 75 s. ISBN 978-952-327-048-0.
- Matinlauri, S. (2016). Vaihtoehtoisia maarakennusmateriaaleja sisältävien tie- ja katurakenteiden vaurioituminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 156 s.
- Mattila, J. (2015) Betonirakentamisen kiertotalous. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK160405.pdf>. [Viitattu 7.11.2018]
- Mattila, T. (2009). Haitallisten aineiden ja päästöjen huomioon ottaminen elinkaariarvioinnissa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2009. ISBN 978-952-11-3373-2.
- Melanta, S., Miller-Hooks, E. and Avetisyan, H. G. (2013). Carbon Footprint Estimation Tool for Transportation Construction Projects', Journal of Construction Engineering and Management, 139(5), pp. 547–555. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000598](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000598)

- Moretti, L., Mandrone, V., D'Andrea, A., Caro, S. (2018). Evaluation of the environmental and human health impact of road construction activities. *Journal of Cleaner Production*. 172, 1004–1013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.250>.
- Ness, B., Urbel Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60, 498–508. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.023>
- NordLCA. (2018). Developing LCA for road and rail infrastructure management. Seminaari 11.9.2018. Clarion Hotel Helsinki Airport, Vantaa.
- Pajukallio, A-M., Wahlström, M. Alasaarela, E. (toim.) (2011). Maarakentamisen uusiomateriaalit. Ympäristökelpoisuuden osoittaminen ja tuotteistaminen. Ympäristöministeriön raportteja 11/2011. ISBN 978-952-11-3862-1.
- Pasanen, P., Miilumäki, N. (2017a). Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi. Hankkeiden hiilijalanjäljen ohjaus- ja optimointimahdollisuudet suunnittelu- ja rakennuttamistoiminnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 20/2017. ISBN 978-952-317-386-6.
- Pasanen, P., Miilumäki, N. (2017b). Energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa. Esiselvitys laskentamenetelmistä. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 43/2017. ISBN 978-952-317-453-5.
- Petäjäniemi, P. (2018) Investointien toteutus ja urakkamuodot sekä hankkeiden laadun hallinta. Esitys UKI-ohjelmassa 15.2.2018. Liikennevirasto.
- Peuranen, E., Hakaste, H. (Toim.) (2014). Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma. Ramate-työryhmän loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 17/2014. ISBN 978-952-11-4342-7.
- PlasticRoad. (2018). The first PlasticRoad bike path of recycled plastic will be located in Zwolle. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <https://www.plasticroad.eu/en/the-first-plasticroad-bike-path-of-recycled-plastic-will-be-located-in-zwolle/>. [Viitattu 24.7.2018]
- Rakennustietosäätiö. (2017). InfraRYL 2017/1. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
- Rakennustietosäätiö. (2018). Ympäristöseloste EPD. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <http://epd.rts.fi/fi/>. [Viitattu 3.9.2018]
- Ramboll. (2013). Foamit® -vaahtolasi. Kulkeutumisriskin tarkasteluja pohjavesialueilla. Riskinarvioraportti. Saatavilla: [http://www.foamit.fi/wp-content/uploads/2016/10/Vaahtolasin\\_kulkeutumisriskinarvio\\_25\\_3\\_2013.pdf](http://www.foamit.fi/wp-content/uploads/2016/10/Vaahtolasin_kulkeutumisriskinarvio_25_3_2013.pdf). [Viitattu 6.9.2018]
- Ramboll. (2017). Kivikon eritasoliittymän katuhanke - hiilidioksidipäästöjen laskenta ja laskentamenetelmien arviointi. Tiivistelmä.
- Rudus Oy. (2014). Betoroc-murskeen hiilijalanjälki, EN-15804:2012+A1. Bionova Consulting.



RTT. (2018) Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/>. [Viitattu 21.8.2018]

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. Strukturoitu ja puolistrukturoitu haastattelu. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Saatavilla: [https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L6\\_3\\_3.html](https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_3.html). [Viitattu 13.2.2019].

Seppälä, J. (2004). Ympäristövaikutusten arviointi elinkaariarvioinnissa. Suomen ympäristö 673. ISBN 952-11-1593-9.

Schwab, O., Bayer, P., Juraske, R., Verones, F., Hellweg, S. (2014). Beyond the material grave: Life Cycle Impact Assessment of leaching from secondary materials in road and earth constructions. Waste Manag. 34, 1884–1896. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.04.022>

SFS-EN 15804 + A1. (2014). Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Käännös julkaisusta Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.

SFS-EN 15978. (2012). Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.

Talja, A. & Törnqvist, J. (2014). Liikennetärinä: Alueiden tärinäkartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius. Saatavilla: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04703-14.pdf>. [Viitattu 31.7.2018]

Tammirinne, M. (2002). Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus. TPPT-suunnittelujärjestelmän kuvaus. Tiehallinnon selvityksiä 7/2002.

Tiehallinto. (2007). Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki, 80 s. ISBN 978-951-803-633-6.

Tiehallinto. (2009). Ympäristövaikutusten arviointi tiehankkeiden suunnittelussa. Helsinki, 70 s. ISBN 978-952-221-237-5.

Tieteen termipankki. (2019a). Ympäristötieteet: päästö. Saatavilla: <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Ympäristötieteet:päästö>. [Viitattu 29.1.2019]

Tieteen termipankki (2019b): Nimitys: ympäristövaikutus. Saatavilla: <https://www.tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:ympäristövaikutus>. [Viitattu 29.1.2019]

Tilastokeskus. (2017). Suomen virallinen tilasto: Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2017. Helsinki. Saatavilla: [http://www.stat.fi/til/khki/2017/khki\\_2017\\_2018-05-24\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-05-24_kat_001_fi.html). [Viitattu: 8.11.2018]

Torniainen, S., & Sikiö, M.-T. (2018). Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt. Kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2018. ISBN 978-952-317-531-0.

UUMA3 (2018a). UUMA-käsikirjasto. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/uuma-k%C3%A4sikirjasto>. [Viitattu 29.6.2018]

UUMA3. (2018b). UUMA2-ohjelma. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/uuma2-ohjelma>. [Viitattu 29.6.2018]

UUMA3. (2018c). UUMA3-ohjelma. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/uuma3-ohjelma>. [Viitattu 27.6.2018]

Uusioaines Oy. (2015). Tulokset: vaahtolasin hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen määrittäminen la-  
situotteille. Pöyry.

Vaajasaari, K. (2018) Ajankohtaista ympäristölainsäädännöstä. Esitys YGOFORUM-syys-  
seminaarissa 14.11.2018.

VNa 843/2017. (2017). Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maara-  
kentamisessa. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>. [Viitattu 8.11.2018]

VNp 993/1992. (1992). Valtioneuvoston päätös melutason ohjeista. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>. [Viitattu 31.7.2018]

VTT. (2017a). Suomen tieliikenteen päästöjen kehitys. Saatavilla: <http://liipasto.vtt.fi/liisa/aikasarja.htm>. [Viitattu 8.11.2018]

VTT. (2017b). LIPASTO yksikköpäästötietokanta. Verkkojulkaisu. Saatavilla: <http://liipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/index.htm>. [Viitattu 15.8.2018]

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Järnström, H., Kaartinen, T., Erlandsson, M., Cousins, A.P., Wik, O., Suer, P., Oberender, A., Hjelm, O., Birgisdóttir, H., Butera, S., Astrup, T.F., Jørgensen, A. (2014). Environmentally Sustainable Construction Products and Materials – Assessment of release. <https://doi.org/978-82-8277-060-6>

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Kaartinen, T., Rautiainen, L., Hjelm, O., Oberender, A., Bendz, D., Wik, O., Gustafsson, H., Engelsen, C.J. & Birgisdóttir, H. (2010). Handbook: Environmental assessment of construction products – an introduction to test methods and other procedures related to CE -marking. Nordtest Technical report 618, Nordic Innovation Centre. Saatavilla: <http://www.nordicinnovation.net/nordtestfiler/rep618.pdf>. [Viitattu 29.1.2019]

Ympäristöministeriö. (2015). Kaivetut maa-ainekset - jäteluonne ja käsittely. Muistio 3.7.2015.

## **Haastattelut ja puhelinkeskustelut**

Häkkinen, T. 2018. Senior Principal Scientist, Teknologian tutkimuskeskus VTT. Haastateltu 1.10.2018.

Karhu, J. 2018. Senior Sustainability Specialist, Green Building Council Finland. Puhelinkeskustelu 12.9.2018.

Kuittinen, M. 2018. Erityisasiantuntija, Ympäristöministeriö. Haastateltu 12.11.2018.

Kylä-Utsuri, H. 2018. Tuotepäällikkö, kierrätys, Rudus Oy. Puhelinkeskustelu 13.9.2018 ja sähköpostiviesti 18.9.2018.

Niemelin, T. 2018. Projektipäällikkö, Ramboll. Haastateltu 24.9.2018.

Nurmi, J. 2018. Tekninen myyjä, Ecolan®Infra uusiomateriaalit. Puhelinkeskustelu 15.10.2018.

Pasanen, P. 2018. Chief Executive Officer, Bionova. Haastateltu 24.9.2018.

Sikiö, M-T. 2018. Ryhmäpäällikkö, DI. Destia Oy, Infrasuunnittelu, Liikenne ja ympäristö. Haastateltu 21.9.2018.

Suominen, M. 2018. Massakoordinaattori, Helsingin kaupunki. Haastateltu 18.9.2018.

Tirkkonen, T. 2018. Kehittämispäällikkö, T&K-asiantuntija, Väylänpito/Tekniikka ja ympäristö, Liikennevirasto. Haastateltu 1.10.2018.

Viitikko, J. 2018. Myyntipäällikkö, vaahtolasin myynti, Uusioaines Oy. Puhelinkeskustelu 6.11.2018.

## **Liiteluettelo**

Liite 1. Haastattelukysymykset. 2. sivua.

Liite 2. Päästölaskennan lähtötiedot. 2 sivua.

Liite 3. Laskentaesimerkin tulokset. 4 sivua.

## Liite 1. Haastattelukysymykset

### Haastateltavan tausta

1. Kertoisitteko vähän omasta taustastanne.
2. Missä roolissa olette ollut mukana infrahankkeiden elinkaarilaskennassa, hiilijalanjälkilaskennassa tai muussa päästölaskennassa?

### Infrahankkeiden ympäristövaikutusten elinkaarilaskenta

3. Mitkä ovat infrarakentamisen merkittävimmät ympäristövaikutukset?
4. Missä vaiheessa elinkaariarviointeja tulisi tehdä?
5. Millaisiin (miten suuriin) infrakohteisiin elinkaariarviointi tulisi tehdä?
6. Pitäisikö elinkaariarviointien tulosten olla julkisia?

*On todettu, että eri laskentaohjelmilla tehty ja eri laskijoiden tekemät elinkaariarviot tuottavat erilaisia tuloksia eivätkä ole vertailukelpoisia keskenään<sup>4</sup>.*

7. Ovatko nykyisin tehtävät elinkaariarviot luotettavia?
8. Aiheuttaako se ongelmia, että eri ohjelmilla tehty elinkaariarviot eivät ole vertailukelpoisia?

### Ympäristövaikutusindikaattorit

*Eurooppalaisen standardisointijärjestön CEN:n tekninen komitea TC 350 julkaisi marraskuussa 2016 dokumentin CWA 17089:2016 Indicators for the sustainability assessment of roads. Dokumentissa esitetään suositus indikaattoreista, joita voidaan käyttää tulevien tai olemassa olevien tierakenteiden kestävyysarvioimiseen. Suosituksen indikaattorit kattavat kaikki kolme kestävyysosa-aluetta: ympäristökestävyys, taloudellisen kestävyys sekä sosiaalisen kestävyys. Suosituksessa luetellut ympäristökestävyysindikaattorit ovat seuraavat:*

---

<sup>4</sup> Ramboll. 2017. Kivikon eritasoliittymän katuhanke - hiilidioksidipäästöjen laskenta ja laskentamenetelmien arviointi. Tiivistelmä.

Sustainability Performance Indicator (SPI)	Unit
1. Primary materials consumption	t
2. Secondary materials used	t or %
3. Materials or components to be reused or recycled, and exported energy	kg, t or MJ
4. Energy use	MJ
5. Waste	t or %
6. Global Warming potential (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq.
7. Formation potential of tropospheric ozone (POCP)	kg Ethene eq.
8. Depletion potential of the stratospheric ozone layer (ODP)	kg CFC-11 eq.
9. Acidification potential of soil and water (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq.
10. Eutrophication potential (EP)	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.
11. Abiotic depletion potential for non-fossil resources (ADP-elements)	kg Sb eq.
12. Abiotic depletion potential for fossil resources (ADP-fossil fuels)	MJ
13. Human Toxicity Potential (HTP)	kg 1,4-DCB eq.
14. Ecotoxicity Potential (EP)	kg 1,4-DCB eq.

9. Mitkä yllä luetelluista indikaattoreista ovat mielestänne relevanteimmat arvioitaessa tiehankkeen ympäristökestävyyttä?

10. Jos käytössä on resursseja vain suppeaan elinkaariarviointiin, mitkä indikaattoreista tulisi ainakin arvioida?

11. Vaikuttaako hankkeen sijainti käytettäviin indikaattoreihin?

12. Tulisiko tierakentamisen ympäristökestävyyden arvioinnissa ottaa yllä lueteltujen indikaattoreiden lisäksi huomioon muitakin ympäristövaikutuksia?

13. Muuta kommentoitavaa ympäristökestävyysindikaattoreista?

#### Uusiomateriaalien rajaaminen

*Tällä hetkellä ei ole olemassa yksiselitteistä ohjeistusta siitä, miten uusiomateriaalit tulisi rajata infrahankkeiden päästölaskennassa, eli mitkä kaikki uusiomateriaalien elinkaaren vaiheet tulisi ottaa päästölaskentatarkastelussa huomioon. Kestävän rakentamisen EN-standardien mukaan kierrätysmateriaaleja tuottavan ja niitä käyttävän järjestelmän välinen raja vedetään siihen, missä materiaalit saavuttavat End-of-Waste -tilan. Jätteen käsittelyn päästöt kohdistuvat siis edelliselle elinkaarelle End-of-Waste -tilaan saakka. Standardit eivät kuitenkaan ota kantaa miten tulisi toimia silloin, jos uusiomateriaalilla ei ole End-of-Waste -statusta, mikä yleensä on tilanne infrahankkeissa käytettävien uusiomateriaalien osalta.*

15. Oletteko tehneet elinkaarianalyysia, hiilijalanjälkilaskentaa tai muuta päästölaskentaa, jossa on huomioitu uusiomateriaalien käyttö?

- Mikäli olette, miten rajasitte uusiomateriaalin elinkaaren tarkastelussa, ja millä perusteella?

15. Muuta kommentoitavaa uusiomateriaalien päästöjen huomioimisesta?

## Liite 2. Päästölaskennan lähtötiedot

*Päästölaskennan esimerkkikohteen geometria.*

	Yksikkö	Skenaariot 1 ja 3	Skenaario 2
<b>Pintamaan poisto</b>			
Pintamaan poiston ala	m <sup>2</sup>	17 300	17 300
Määrä	m <sup>3</sup> rtr	3 460	3 460
<b>Pilaristabilointi</b>			
<b>Vain skenaario 1</b>			
k/k-väli	m	1,05	1,40
Pilarin ala	m <sup>2</sup>	0,385	0,385
Pilareita	kpl	15 692	8 827,00
Pilaritiheys	kpl/m <sup>2</sup>	0,91	0,51
Pilaripituus (Pilarin syvyys)	m	10	10
Stab. Juoksumetrit	m	156 920	88 270
Pinta-ala	m <sup>2</sup>	6 038,9893	3 397
Pilarin halkaisija	m	0,70	0,70
Sideainetta tarvitaan	kg/m <sup>3</sup>	100,00	100,00
Sideainemäärä	t	6 038,989	3 397,028
<b>Penger</b>			
Ala	m <sup>2</sup>	29,52	12,39
Tilavuus	m <sup>3</sup>	29 520,00	12 385,00
<b>Suodatinkangas</b>			
<b>Vain skenaario 1</b>			
Piiri	m	20,00	45,93
Ala	m <sup>2</sup>	20 000,00	45 930,00
<b>Päällyste (AB)</b>			
Pinta-ala	m <sup>2</sup>	10 000	10 000
Paksuus	mm	190	190
Nimellispaksuus	kg / m <sup>2</sup>	475	475
<b>Kantava kerros</b>			
Määrä	m <sup>3</sup>	1 659	1 659
Ala	m <sup>2</sup>	10 000	10 000
<b>Jakava kerros</b>			
Määrä	m <sup>3</sup>	4349	4349
Ala	m <sup>2</sup>	10 000	10 000
<b>Kevennys</b>			
Ala	m <sup>2</sup>	0	17,135
Tilavuus	m <sup>3</sup>	0	17135

*Kuljetusmatkat päästölaskentaesimerkissä.*

Kuljetusmatkat (km)	Taajama	Maaseutu	Selite
Pintamaa	20	0	Pääkaupunkiseutu
Kalliomurske	20	0	Pääkaupunkiseutu
Betonimurske	20	0	Pääkaupunkiseutu
Sementti	20	160	Parainen-Helsinki
Kalkki	20	160	Parainen-Helsinki
Lentotuhka	20	0	Pääkaupunkiseutu
Suodatinkangas	15	1285	Saksa-Helsinki
Vahtolasimurske	20	100	Forssa-Helsinki
Kevytsora	10	110	Kuusankoski-Helsinki



## Liite 3. Laskentaesimerkin tulokset

Seuraavissa taulukoissa on esitetty diplomityön päästölaskentaesimerkin tulokset kullekin skenaariolle 1-3 sekä tonnimäärinä ( $t\ CO_2$ ) että prosentteina. Sarake ”kiviaines” kuvaa tilannetta, jossa on käytetty ainoastaan perinteisiä kiviainesmateriaaleja. Tämä tilanne toimii vertailukohtana uusiomateriaalien käytön aikaansaamille päästövähennyksille (harmaalla pohjavärillä korostetut solut).

Vaakarivien prosentit kuvaavat rakennusosakohtaisia  $CO_2$ -päästöjä suhteessa perinteiseen vaihtoehtoon, jossa on käytetty ainoastaan perinteisiä kiviainesmateriaaleja. Alin rivi kuvaa hankkeen kokonaispäästöjä suhteessa perustilanteeseen, jossa on käytetty ainoastaan perinteisiä kiviainesmateriaaleja.

Lyhenteet BeM A-D kuvaavat betonimurskeen rajausvaihtoehtoja, joissa on huomioitu eri vaiheet betonimurskeen elinkaaresta (BeM A: murskaus, kuljetukset, asennus; BeM B: kuljetukset, asennus; BeM C: asennus; BeM D: kuljetukset, asennus, hiilen sidonta).

*Taulukko A. Skenaario 1 (pilaristabilointi), päästölaskennan tulokset eri materiaalivaihtoehdoilla prosentteina perusvaihtoehdosta, jossa käytetty vain perinteisiä materiaaleja (kiviaineksia). Lyhenteet BeM A-D kuvaavat betonimurskeen rajausvaihtoehtoja, joissa on huomioitu eri vaiheet betonimurskeen elinkaaresta (BeM A: murskaus, kuljetukset, asennus; BeM B: kuljetukset, asennus; BeM C: asennus; BeM D: kuljetukset, asennus, hiilen sidonta).*

	Kiviaines	BeM A	BeM B	BeM C	BeM D	Pohjatuhka	Lentotuhka 10%	Lentotuhka 15%
Pintamaan poisto, t CO <sub>2</sub>	25	25	25	25	25	25	25	25
Pilaristabilointi, t CO <sub>2</sub>	5023	5023	5023	5023	5023	5023	4630	4434
Kevennys, t CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
Penger, t CO <sub>2</sub>	372	313	218	11	-771	208	372	372
Suodatinkangas, t CO <sub>2</sub>	2	2	2	2	2	2	2	2
Jakava kerros, t CO <sub>2</sub>	53	44	30	2	-143	53	53	53
Kantava kerros, t CO <sub>2</sub>	20	20	20	20	20	20	20	20
Päällyste, t CO <sub>2</sub>	119	119	119	119	119	119	119	119
<b>Yhteensä (t CO<sub>2</sub>)</b>	<b>5615</b>	<b>5547</b>	<b>5438</b>	<b>5203</b>	<b>4276</b>	<b>5451</b>	<b>5222</b>	<b>5025</b>

	Kiviaines	BeM A	BeM B	BeM C	BeM D	Pohjatuhka	Lentotuhka 10%	Lentotuhka 15%
Pintamaan poisto, %	100	100	100	100	100	100	100	100
Pilaristabilointi, %	100	100	100	100	100	100	92	88
Kevennys, %	0	0	0	0	0	0	0	0
Penger, %	100	84	59	3	-207	56	100	100
Suodatinkangas, %	100	100	100	100	100	100	100	100
Jakava kerros, %	100	84	57	4	-272	100	100	100
Kantava kerros, %	100	100	100	100	100	100	100	100
Päällyste, %	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Kokonaispäästöt, %</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>97</b>	<b>93</b>	<b>76</b>	<b>97</b>	<b>93</b>	<b>90</b>

*Taulukko B. Skenaario 2 (kevennysrakenne ja pilaristabilointi), päästölaskennan tulokset eri materiaalivaihtoehtojalla prosentteina perusvaihtoehtosta, jossa käytetty vain perinteisiä materiaaleja (kiviaineksia). Lyhenteet BeM A-D kuvaavat betonimurskeen rajausvaihtoehtoja, joissa on huomioitu eri vaiheet betonimurskeen elinkaaresta (BeM A: murskaus, kuljetukset, asennus; BeM B: kuljetukset, asennus; BeM C: asennus; BeM D: kuljetukset, asennus, hiilen sidonta).*

	Kiviaines (kevytsora)	Vaahtolasi 1	Vaahtolasi 2	BeM A	BeM B	BeM C	BeM D	Lentotuhka 10%	Lentotuhka 15%
Pintamaan poisto, t CO <sub>2</sub>	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Pilaristabilointi, t CO <sub>2</sub>	2795	2795	2795	2795	2795	2795	2795	2574	2464
Kevennys, t CO <sub>2</sub>	2153	1008	6667	2153	2153	2153	2153	2153	2153
Penger, t CO <sub>2</sub>	156	156	156	132	91	20	-415	156	156
Suodatinkangas, t CO <sub>2</sub>	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Jakava kerros, t CO <sub>2</sub>	53	53	53	44	30	2	-143	53	53
Kantava kerros, t CO <sub>2</sub>	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Päällyste, t CO <sub>2</sub>	119	119	119	119	119	119	119	119	119
<b>Yhteensä (t CO<sub>2</sub>)</b>	<b>5324</b>	<b>4179</b>	<b>9838</b>	<b>5291</b>	<b>5237</b>	<b>5137</b>	<b>4557</b>	<b>5103</b>	<b>4993</b>

	Kiviaines (kevytsora)	Vaahtolasi 1	Vaahtolasi 2	BeM A	BeM B	BeM C	BeM D	Lentotuhka 10%	Lentotuhka 15%
Pintamaan poisto, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pilaristabilointi, %	100	100	100	100	100	100	100	92	88
Kevennys, %	100	47	310	100	100	100	100	100	100
Penger, %	100	100	100	84	59	13	-266	100	100
Suodatinkangas, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Jakava kerros, %	100	100	100	84	57	4	-272	100	100
Kantava kerros, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Päällyste, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Kokonaispäästöt, %</b>	<b>100</b>	<b>78</b>	<b>185</b>	<b>99</b>	<b>98</b>	<b>96</b>	<b>86</b>	<b>96</b>	<b>94</b>

Taulukko C. Skenaario 3 (kantava maapohja, ei pohjanvahvistuksia), päästölaskennan tulokset eri materiaalivaihtoehtoilla prosentteina perusvaihtoehtodesta, jossa käytetty vain perinteisiä materiaaleja (kiviaineksia). Lyhenteet BeM A-D kuvaavat betonimurskeen rajausvaihtoehtoja, joissa on huomioitu eri vaiheet betonimurskeen elinkaaresta (BeM A: murskaus, kuljetukset, asennus; BeM B: kuljetukset, asennus; BeM C: asennus; BeM D: kuljetukset, asennus, hiilen sidonta).

	Kiviaines	BeM A	BeM B	BeM C	BeM D	Pohjatuhka
Pintamaan poisto, t CO <sub>2</sub>	25	25	25	25	25	25
Pilaristabilointi, t CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0
Kevennys, t CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0
Penger, t CO <sub>2</sub>	372	313	218	11	-771	208
Suodatinkangas, t CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0
Jakava kerros, t CO <sub>2</sub>	53	44	30	2	-143	53
Kantava kerros, t CO <sub>2</sub>	20	20	20	20	20	20
Päällyste, t CO <sub>2</sub>	119	119	119	119	119	119
Yhteensä (t CO <sub>2</sub> )	589	522	412	178	-750	425

	Kiviaines	BeM A	BeM B	BeM C	BeM D	Pohjatuhka
Pintamaan poisto, %	100	100	100	100	100	100
Pilaristabilointi, %	0	0	0	0	0	0
Kevennys, %	0	0	0	0	0	0
Penger, %	100	84	59	3	-207	56
Suodatinkangas, %	0	0	0	0	0	0
Jakava kerros, %	100	84	57	4	-272	100
Kantava kerros, %	100	100	100	100	100	100
Päällyste, %	100	100	100	100	100	100
Kokonaispäästöt, %	100	89	70	30	-127	72